

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
11. Januar 2001 (11.01.2001)

PCT

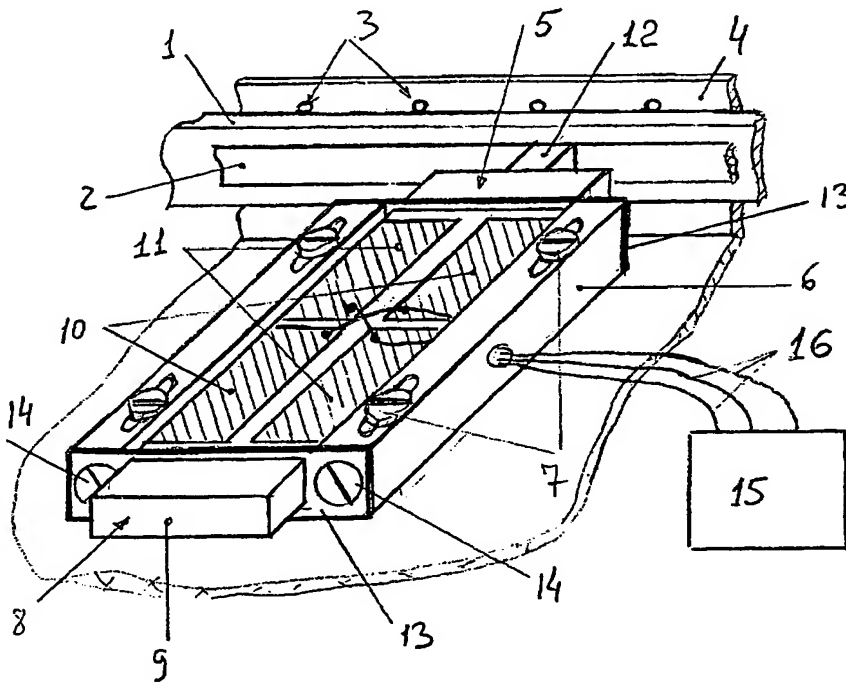
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/03282 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: H02N 2/04, 2/06, H01L 41/09, 41/04 (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): PI CERAMIC GMBH [DE/DE]; Keramische Technologien und Bauelemente, Lindenstrasse, D-07589 Lederhose (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/06133 (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WISCHNEWSKIY, Wladimir [DE/DE]; Querstrasse 26, D-07589 Münchenbernsdorf (DE).
- (22) Internationales Anmeldedatum: 30. Juni 2000 (30.06.2000) (74) Anwälte: KRUSPIG, Volkmar usw.; Meissner, Bolte & Partner, Postfach 86 06 24, D-81633 München (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): IL, JP, US.
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 199 45 042.0 30. Juni 1999 (30.06.1999) DE

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: PIEZOELECTRIC DRIVE, ESPECIALLY A HOLDING FRAME, A FRICTION ELEMENT AND A CIRCUIT CONFIGURATION

(54) Bezeichnung: PIEZOELEKTRISCHER ANTRIEB, INSBESONDERE HALTERAHMEN, FRIKTIONSELEMENT UND SCHALTUNGSANORDNUNG



(57) Abstract: The invention relates to a piezoelectric drive, especially a piezoelectric motor for producing continuous or stepwise movements, to a friction element (12) for a piezoelectric drive and for transmitting forces between a stator (5) and a rotor (1) and to a circuit configuration for operating a piezoelectric drive, especially a piezoelectric motor. An elastic double frame (13) with an inner and an outer frame is located at the respective outer node of the flexural vibration curve. Said double frame holds the piezoelectric converter (9) and produces the force that acts against the friction element (12). The inner frame (26) is linked with the respective longitudinal small faces of the converter and the outer frame (25) is linked with the outer fixation. The outer frame and the inner frame are spaced apart from each other and are linked via webs or bridges (27). The inventive

friction element (12) is configured as a double-layer structure and has a first hard, porous body (37) that is linked with the converter. The friction element is further linked with a second element (38) or body that is linked with the rotor and that consists of a non-abrasive, monolithic material. The two layers are sinter-bonded. The circuit configuration for operating the drive uses a specific bridge power amplifier (41) and compensates for the temperature changes of the drive in order to guarantee a stable operation.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/03282 A1



(84) **Bestimmungsstaaten** (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

- *Mit internationalem Recherchenbericht.*
- *Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen.*

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Antrieb, insbesondere piezoelektrischen Motor zur Erzeugung kontinuierlicher oder schrittweiser Bewegungen, ein Friktionselement (12) für einen solchen piezoelektrischen Antrieb sowie zum Übertragen von Kräften zwischen Ständer (5) und Läufer (1) sowie eine Schaltungsanordnung zum Betreiben eines piezoelektrischen Antriebs, insbesondere eines piezoelektrischen Motors. Zur Halterung des piezoelektrischen Wandlers (9) sowie zum Erzeugen der Anpresskraft des Friktionselements (12) ist jeweils am äusseren Knoten der Biegeschwingungsmode ein elastischer, den Wandler umgreifender Doppelrahmen (13) mit Innen- und Aussenrahmen angeordnet, wobei der Innenrahmen (26) jeweils mit den Längsschmalseiten des Wandlers und der Aussenrahmen (25) mit der äusseren Befestigung verbunden ist, weiterhin der Aussenrahmen und der Innenrahmen beabstandet sind und über Stege oder Brücken (27) in Kontakt stehen. Das erfindungsgemässe Friktionselement (12) ist als Doppelschichtstruktur ausgebildet mit einem ersten, mit dem Wandler verbundenen harten, porösen Körper (37) und mit einem zweiten, mit dem Läufer in Kontakt stehenden Teil (38) oder Körper aus einem abriebfesten, monolithischen Material, wobei beide Schichten durch Sintern verbunden sind. Die Schaltungsanordnung zum Betreiben des Antriebs greift auf einen speziellen Brückenleistungsverstärker (41) sowie auf die Möglichkeit der Kompensation des Temperaturgangs des Antriebs zu dessen stabilen Betrieb zurück.

PIEZOELEKTRISCHER ANTRIEB, INSBESONDERE HALTERAHMEN, FRIKTIONSELEMENT UND SCHALTUNGSANORDNUNG

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Antrieb, insbesondere piezoelektrischen Motor zur Erzeugung kontinuierlicher oder schrittweiser Bewegungen, umfassend einen eine Friktions-
5 oberfläche aufweisenden Läufer, ein mit dieser Oberfläche in Kontakt bringbares Antriebselement in Form eines piezoelektrischen Erregers, wobei der Erreger aus einem monolithischen, plattenförmigen, im wesentlichen rechteckigen, Elektroden-
flächen aufweisenden piezoelektrischen Wandler besteht, eine
10 äußere Befestigung, ein auf einer der Stirnseiten des piezoelektrischen Wandlers angeordnetes Friktionselement sowie eine Halterung für den piezoelektrischen Wandler und Mittel zum elastischen Anpressen des Friktionselements an die Friktions-
oberfläche des Läufers. Weiterhin richtet sich die Erfindung
15 auf ein Friktionselement für einen piezoelektrischen Antrieb zum Übertragen von Kräften zwischen Ständer und Läufer sowie auf eine Schaltungsanordnung zum Betreiben eines piezoelektrischen Antriebs, insbesondere piezoelektrischen Motors gemäß Oberbegriff des Patentanspruchs 1, 6 bzw. 11.

20 Piezoelektrische Motoren, welche Ständer und Rotor umfassen, und wobei der Ständer mindestens einen piezoelektrischen Schwinger aufweist, der gegen die Oberfläche des Rotors in Antriebsrichtung reibschlüssig andrückbar ist, sind bekannt.
25 Der Schwinger besteht bekanntermaßen aus einem Piezoelement, das auf seinen parallelen Außenflächen Elektroden aufweist, die an eine Wechselspannungsquelle angeschlossen werden. Zum Stand der Technik hierzu sei beispielsweise auf die DE 25 30 045 C2 verwiesen.

Aus der europäischen Patentanmeldung EP 0 475 752 sind lineare piezoelektrische Motoren bekannt, welche funktionsseitig auf akustische Wanderwellen zurückgreifen. Derartige Motoren, wie auch in der US-PS 5,596,241 gezeigt, haben den Nachteil, daß diese nicht minaturisierbar sind, da die Mindestlänge des Wellenleiters ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge λ betragen muß. Weiterhin sind derartige Motoren konstruktiv aufwendig und technologisch schwer umzusetzen und daher teuer.

Weiterhin gehören piezoelektrische Motoren auf der Basis von stehenden Wellen zum Stand der Technik, wobei hier auf das US-Patent 5,714,833 verwiesen sei. Bei derartigen Motoren dient als Antriebselement ein auf die zweite Biege- und die erste Longitudinalmode der akustischen Schwingungen abgestimmter piezoelektrische Erreger. Der Erreger weist einen plattenförmigen piezoelektrischen, mit zwei Elektrodengruppen zur Erzeugung von Schwingungen versehenen Piezowandler auf, auf dessen Stirnseite ein Friktionselement angeordnet ist. Eine Querverschiebung des Erregers wird mit Hilfe einer speziellen Halterung begrenzt.

Die Friktionsoberfläche des Erregers wird mittels eines Anpreßbauteils, z.B. einer Feder elastisch an die korrespondierende Friktionsoberfläche des Läufers angepreßt.

Wie im US-Patent 5,714,833 gezeigt, werden das Bauteil zum Erzeugen der Anpreßkraft des Erregers und die Querhalterung des Erregers als voneinander getrennte Baugruppen ausgeführt. Die bekannte Querhalterung ist in Form von zwei starren und zwei elastischen Trägern ausgebildet, die sich an den Seiten des Piezowandlers befinden. Die elastischen Träger pressen den Piezowandler an die starren Träger, z.B. Bolzen, die in einem Hohlraum des Piezowandlers befindlich sind, womit eine entsprechende Fixierung in Querrichtung erreicht wird. Die starren Träger sind beispielsweise als konische Kunststoffelemente oder Kunststoffstifte ausgeführt, wobei die elastischen Träger aus gummiähnlichen Werkstoffen gefertigt sind. Das eigentliche Bauteil zum Anpressen des Erregers bzw. eines Friktionselements an die Oberfläche des Läufers besteht

aus einer Feder, die sich von einer hinteren Gehäusewand gegen die zweite Stirnoberfläche des Piezowandlers abstützt.

Bei der oben beschriebenen Lehre der aus der US-PS 5,714,833
5 bekannten Lösung ist es von wesentlichem Nachteil, daß die
beiden Trägertypen, die Halterung und das Anpreßbauteil des
Erregers eine niedrige mechanische Güte und einen hohen
Reibungskoeffizienten mit der Oberfläche des Piezowandlers
10 besitzen. Aufgrund dieser Tatsache findet bei Betrieb eines
derartig konstruierten Motors eine unerwünschte Erwärmung
statt, und zwar aufgrund der inneren Reibung der Elemente als
auch bezüglich der Reibung an den Oberflächen des schwingenden
Wandlers. Eine unerwünschte Erwärmung des Piezowandlers
verringert nicht nur den Wirkungsgrad des Motors, sondern führt
15 auch zu einem instabilen Betrieb.

Ein weiterer wesentlicher Nachteil der bekannten Lösung,
umfassend einen aus Kunststoffmaterialien und gummiartigen
Werkstoffen bestehenden Träger, ist die einseitige, starre
20 Befestigung, welche keine präzise Positionierung, insbesondere
bei hohen Laufergeschwindigkeiten ermöglicht. Es wurde beob-
achtet, daß bei derartigen Motoren ein starker, einseitiger
Auslauf des Läufers auftritt, welcher einige zehntel Mikrometer
erreicht, was bei einer Vielzahl von Anwendungen unzulässig
25 hoch ist. Von einem Präzisionsantrieb kann daher nicht gespro-
chen werden. Letztendlich belastet die Querhalterung und das
Anpreßbauteil den Erreger mechanisch, womit seinem Resonanz-
system ein zusätzlicher aktiver Widerstand zugeführt wird. Dies
wiederum erfordert eine Erhöhung der Erregerspannung bis hin zu
30 500 V, was wiederum spezielle Schutzmaßnahmen nach sich zieht.
Weiterhin verschiebt sich der Frequenzbereich des optimalen
Motorbetriebs bezüglich der mechanischen Resonanzfrequenz der
Biegemode der Oszillatorschwingungen auf der Frequenzskala, so
daß eine Frequenzstabilisierung des Arbeitspunkts mittels
35 Phasenrückkopplung unmöglich wird.

Aus der DE 196 48 726 A1 ist ein piezoelektrisches Antriebs-
element mit mindestens einem in x-, y- und/oder z-Richtung

beweglichen Schwinger aus piezoelektrischer Keramik oder aufgetragenen piezoelektrischen Erregern bekannt, wobei der mindestens eine Schwinger auf einem Schwingerhalter befestigt ist. Gemäß der dortigen Lösung wird der Schwingerhalter mittels Federlager, insbesondere Biegefedergelenken an einem Tragteil derart befestigt, daß die Bewegung des mindestens einen Schwingers bzw. des Schwingerhalters in y- und z-Richtung unterdrückbar ist, jedoch die gewünschte Bewegung in x-Richtung möglichst ungestört erfolgen kann. Nach DE 196 48 726 A1 sind Schwingerhalter, Biegefedergelenke und Tragteil einstückig aus monolithische Baugruppe ausgebildet.

Es hat sich jedoch gezeigt, daß die oben zitierte Anordnung für ein piezoelektrisches Antriebselement bei längerem Betrieb durch die wirkenden Kräfte im Bereich der Biegefedergelenke zur Materialermüdung neigt und daß im Übergangsbereich von Schwingerhalter zu Biegefedergelenk eine permanente Sollbruchstelle besteht.

Aus dem Vorgenannten ist es Aufgabe der Erfindung, einen weiterentwickelte piezoelektrischen Antrieb, insbesondere piezoelektrischen Motor zur Erzeugung kontinuierlicher oder schrittweiser Bewegungen anzugeben, wobei durch eine spezielle Halterung der Wirkungsgrad und die Langzeitstabilität des Antriebs verbessert werden sollen, so daß unter allen Umständen präzise Translationsbewegungen und Feinpositionierungen, z.B. für Mikroskop- oder Koordinatentische realisiert werden können. Weiterhin soll es mit der Erfindung gelingen, eine unerwünschte Erwärmung des Erregers zu vermeiden, so daß der Motorbetrieb stabilisiert werden kann.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, an sich bekannte Friktionselemente für einen piezoelektrischen Antrieb zum Übertragen von Kräften zwischen Ständer und Läufer so weiterzubilden, daß einerseits das Friktionselement festhaftend mit dem Piezoschwinger bzw. Erreger verbunden ist und andererseits die äußere Kontaktfläche allen Anforderungen an Verschleißfestigkeit und sicherer Mitnahme des Läufers genügt.

Letztendlich ist es Aufgabe der Erfindung, eine Schaltungsanordnung zum Betreiben eines piezoelektrischen Antriebs, insbesondere piezoelektrischen Motors vorzuschlagen, mit deren Hilfe eine Stabilisierung des Arbeitspunkts des Motors bei gleichzeitig geringer Erregerspannung möglich wird.

Die Lösung der Aufgabe der Erfindung erfolgt hinsichtlich des piezoelektrischen Antriebs und der speziellen Halterung des piezoelektrischen Wandlers mit einem Gegenstand nach den Merkmalen des Patentanspruchs 1, bezüglich des weitergebildeten Friktionselements mit einer Doppelschichtstruktur gemäß Definition nach Patentanspruch 6 und hinsichtlich der Schaltungsanordnung zum Betreiben eines piezoelektrischen Antriebs mit einer Lehre nach den Merkmalen des Patentanspruchss 11, wobei die Unteransprüche jeweils mindestens zweckmäßige Ausgestaltungen und Weiterbildungen umfassen.

Der Grundgedanke der Erfindung hinsichtlich des piezoelektrischen Antriebs und der dort notwendigen Halterung besteht darin, daß diese so ausgeführt ist, daß die eigentliche Querhalterung des piezoelektrischen Wandlers oder Schwingers mit der Funktion zum elastischen Anpressen des Friktionselements an die Oberfläche des Läufers kombiniert ist.

Konkret sind zur Halterung des piezoelektrischen Wandlers sowie zum Erzeugen der gewünschten Anpreßkraft des Friktionselements jeweils am äußeren Knoten der Biegeschwindungsmode ein elastischer, den Wandler umgreifender Doppelrahmen mit Innen- und Außenrahmen angeordnet.

Der Innenrahmen ist jeweils mit den Längsschmalseiten des Wandlers und der Außenrahmen mit der äußeren Befestigung verbunden.

Außen- und Innenrahmen sind voneinander beabstandet und über Stege oder Brücken in Kontakt stehend. Die Doppelrahmen bestehen aus einem elastischen Material hoher Güte.

Bevorzugt besitzen die Doppelrahmen jeweils einen längs der Achsen symmetrischen Aufbau, wobei die Stege oder Brücken, Innen- und Außenrahmen verbindend, mittig angeordnet sind.

5 Da, wie vorstehend beschrieben, jeder Innenrahmen mit seinem Schmalseiten starr mit den Längsschmalseiten, d.h. den kleineren Seitenflächen des plattenförmigen piezoelektrischen Wandlers verbunden ist und jeder Außenrahmen starr mit der äußeren Befestigung, z.B. einem Gehäuse in Verbindung steht,
10 und zwischen Innen- und Außenrahmen Überbrückungen vorhanden sind, wird jeder der beiden Doppelrahmen zu einem Biegeschwingungselement hoher Güte. Bei der vorgeschlagenen Konstruktion existieren keine gegenseitigen Bewegungen zwischen den vibrierenden oder schwingenden Oberflächen des piezoelektrischen Erregers und den starr mit diesem verbundenen Innenrahmen-
15 oberflächen, d.h. es existieren keine mechanischen Reibungsverluste.

Die Innenreibungsverluste der Doppelrahmen selbst sind außerordentlich niedrig, da die Rahmen aus Werkstoffen mit einer hohen mechanischen Güte gefertigt sind. Die Querhalterung des piezoelektrischen Erregers und die hiermit kombinierte Vorrichtung zum elastischen Anpressen des Erregers bzw. des dort befindlichen Friktionselements weist sehr geringe mechanische
20 Verluste auf. Der Erreger, d.h. der Schwinger und die Doppelrahmenhalterungen bilden ein gemeinsames, mit niedrigen mechanischen Verlusten behaftetes Schwingungssystem. Der Träger erwärmt sich nicht und besitzt daher einen hohen Stabilitätsgrad im Betrieb. Aufgrund der wesentlich kleineren mechanischen
25 Verluste ist der Wirkungsgrad des Motors höher als derjenige von bekannten Lösungen und es sind geringere Erregungsspannungen möglich.

35 Letztendlich besitzen die Innen- und Außenrahmen in ihren Querrichtungen eine hohe Starrheit, so daß Querverschiebungen des Erregers bei Positionierung des Läufers mit hohen Geschwindigkeiten ausgeschlossen werden können, so daß grund-

sätzlich eine Positionierpräzision gleich dem kleinsten Schwingungsschritt des Erregers möglich ist.

5 Zum Erhalt der gewünschten Eigenschaften des Erregers bzw. Schwingers in Verbindung mit seiner Halterung sind zwischen den Längsbreitseiten des Wandlers und dem jeweiligen Innenrahmen Abstandsspalte ausgebildet. Bevorzugt werden die Innenrahmen an den Längsschmalseiten des Wandlers stoffschlüssig, z.B. durch Kleben oder Löten oder dergleichen Verbindungsarten befestigt.

10 Bezüglich des Friktionselements für einen piezoelektrischen Antrieb zum Übertragen von Kräften zwischen Ständer und Läufer wird gemäß einem weiteren Grundgedanken der Erfindung auf eine Doppelschichtstruktur zurückgegriffen.

15 Der mit dem Wandler oder Erreger verbundene Teil der Schichtstruktur ist als harter, poröser Körper ausgebildet, wobei der mit den Läufern in Kontakt stehende Teil der Schichtstruktur aus einem abriebfesten, monolithischen Körper besteht. Beide
20 der Schichten bzw. beide Körper sind durch Sintern miteinander verbunden.

In den Poren des mit dem Wandler verbundenen Teils der Schichtstruktur sind Füllstoffe zum Erhalt einer festen Verbindung zwischen der Wandleroberfläche und dem eigentlichen
25 Friktionselement angeordnet oder eingebracht.

Als Füllstoffe kommen beispielsweise Epoxidharz und/oder niedrigschmelzende Gläser in Betracht. Bevorzugt ist die Grenzfläche der Doppelschichtstruktur im wesentlichen parallel
30 zur Wandlerstirnseite verlaufend orientiert.

Das Friktionselement mit Doppelschichtstruktur kann sowohl als Quader, aber auch als flacher oder steiler Pyramidenstumpf oder konischer Körper ausgeführt sein.

35 Bei einer Ausführungsform nach Art eines Pyramidenstumpfs ist die Verbindungsoberfläche zwischen Friktionselement und Erreger vergrößert, so daß sich die hier resultierende Haftung erhöht und größere Kräfte übertragen werden können.

Hinsichtlich der Schaltungsanordnung zum Betrieben eines piezoelektrischen Antriebs, insbesondere piezoelektrischen Motors wird von einem Grund- oder Steuergenerator ausgegangen, der mit einem zweikanaligen Brückenleistungsverstärker zusammenwirkt. Ein erster Eingang des Leistungsverstärkers wird direkt am Ausgang des Grund- oder Steuergenerators angeschlossen, wobei der zweite Eingang über einen Phasenschieber mit dem Grundgenerator in Verbindung steht. In die Ausgangsdiagonale des Brückenleistungsverstärkers ist ein Filter sowie ein summierender Transformator eingeschleift, wobei die Sekundärwicklung des Transformators über einen Umschalter mit einer der an sich bekannten Elektrodenflächen des piezoelektrischen Wandlers kontaktiert ist.

Mit einer derartigen Schaltungsanordnung kann eine lineare Geschwindigkeitsregulierung des Antriebs bzw. des Motorbetriebs erreicht werden.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Schaltungsanordnung zum Betreiben eines piezoelektrischen Antriebs ist zusätzlich ein Signalpegelwandler, ein Komparator und ein elektronischer Elektrodengruppenkommutator vorgesehen. Hierbei ist der Eingang des Signalpegelwandlers am Komparatoreingang und der Ausgang des Signalpegelwandlers am Phasensteuerungseingang des Phasenschiebers angeschlossen. Die Komparatorausgänge sind mit den Steuerungseingängen des Elektrodengruppenkommutators verbunden, wobei die Ausgänge des Kommutators an die jeweiligen Elektrodenflächen angeschlossen sind. Bei dieser Ausführungsform kann eine Ansteuerung des Motors im unipolaren Betrieb vorgenommen werden.

Weiterhin ist erfindungsgemäß vorgesehen, auf den piezoelektrischen Wandler oder Erreger einen Biegesensor zur Messung der Biegekomponenten der mechanischen Erregung anzuordnen, wobei der Biegesensor als dünne, einschichtige piezokeramische Platte ausgebildet ist. Die piezokeramische Platte des Biegesensors hat eine bidirektionale, auf ihre Querachse bezogene symmetrische, senkrechte Polarisierung. Die Platte selbst ist starr

auf der Oberfläche des piezoelektrischen Wandlers befestigt, und zwar bevorzugt im Mittelpunkt zwischen Mittel- und Seitenknoten der Biegemode der Schwingungen.

- 5 Bei dieser Ausführungsform besteht die Möglichkeit, ein Meßsignal zu erhalten, dessen Phasenänderung direkt proportional zur Veränderung der mechanischen Biegespannungen bzw. der Schwingungsgeschwindigkeit des Erregers ist.
- 10 Bei dieser Ausführungsform des piezoelektrischen Motors mit Biegesensor wird schaltungsanordnungsseitig ein Phasendetektor mit einem Referenzsignaleingang, einem Steuereingang und einem Ausgang vorgesehen. Der Grundgenerator besitzt einen Eingang zur elektrischen Steuerung der Erregungsfrequenz. Eine der
- 15 Gruppen der Elektrodenflächen des Wandlers ist über eine Referenzsignalerzeugungseinrichtung am Referenzsignaleingang des Phasendetektors angeschlossen. Die Biegesensorelektroden sind mit dem Eingang des Referenzsignalerzeugers verbunden, dessen Ausgang mit dem Steuereingang des Phasendetektors kontaktiert ist. Der Ausgang des Phasendetektors wiederum ist am
- 20 Eingang zur Ansteuerung der Erregungsfrequenz des Grundgenerators angeschlossen.

Bei dieser schaltungsseitigen Ausführungsvariante ist eine

25 negative Frequenzrückkopplung vorgesehen, wodurch eine Stabilisierung des Motorbetriebs in einem breiten Temperaturbereich möglich wird.

Die Erfindung soll nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen

30 sowie unter Zuhilfenahme von Figuren näher erläutert werden.

Hierbei zeigen:

Fig. 1 eine Prinzipdarstellung des piezoelektrischen Antriebs

35 in einer Ausführungsform als Linearmotor;

Fig. 2 eine Darstellung des grundsätzlichen Aufbaus des piezoelektrischen Wandlers oder Schwingers;

- Fig. 3 und 4 eine Darstellung des Aufbaus der Doppelrahmen in Seitenansicht sowie in Draufsicht;
- 5 Fig. 5 und 6 eine Darstellung der Verbindung des Innenrahmens der Doppelrahmenanordnung mit dem plattenförmigen piezoelektrischen Wandler;
- 10 Fig. 7 eine Draufsicht auf die Motorkonstruktion in der Ausführung als Linearantrieb;
- Fig. 8 eine Darstellung der resultierenden Kräfte, die am elastischen Doppelrahmen bei Betrieb des Motors entstehen;
- 15 Fig. 9 und 10 Darstellungen von Schwingungsformen der Flächen des elastischen Doppelrahmens:
- Fig. 11 verschiedene Ausführungsvarianten hinsichtlich der geometrischen Gestaltung des Friktionselements;
- 20 Fig. 12 eine Ausführungsform der Schaltungsanordnung zum Betreiben eines piezoelektrischen Antriebs einschließlich prinzipieller Darstellung des Wandlers mit Doppelrahmen-Halterung;
- 25 Fig. 13 eine Darstellung des Erregungsverhaltens in Verbindung mit dem Verlauf von im wesentlichen sinusförmigen Ansteuerspannungen;
- 30 Fig. 14 Erläuterungsdiagramme hinsichtlich der Funktionsweise der Schaltungsanordnung;
- 35 Fig. 15 eine weitere Ausführungsform der Schaltungsanordnung zum Betreiben eines piezoelektrischen Antriebs mit Signalpegelwandler;

Fig. 16 Erläuterungsdiagramme hinsichtlich der Funktionsweise der Schaltungsanordnung gemäß Ausführungsbeispiel;

5 Fig. 17 eine Darstellung des prinzipiellen Aufbaus und der Anordnung des Biegesensors zur Bestimmung der Biegekomponenten der mechanischen Erregerschwingungen;

Fig. 18 Erläuterungsdiagramme bezüglich der Arbeitsweise des Biegesensors und

10 Fig. 19 eine weitere schaltungstechnische Ausführungsvariante zur Ansteuerung eines piezoelektrischen Antriebs mit piezoelektrischem Wandler als Biegesensor mit dem Ziel, den Motorbetrieb in einem breiten Temperaturbereich zu stabilisieren.

15
20
25 Der in der Fig. 1 dargestellte piezoelektrische Antrieb in einer Ausführungsform als Linearmotor umfaßt einen eine Friktionsoberfläche aufweisenden Läufer und ein mit dieser Oberfläche in Kontakt bringbares Antriebselement oder eine entsprechende Antriebseinheit. Das Antriebselement ist in Form eines piezoelektrischen Erregers ausgebildet, wobei der Erreger in an sich bekannter Weise aus einem monolithischen, plattenförmigen, im wesentlichen rechteckigen, Elektrodenflächen aufweisenden piezoelektrischen Wandler besteht. Darüber hinaus ist eine äußere Befestigung, die auch Teil eines Gehäuses sein kann, vorgesehen.

30 Auf einer der Stirnseiten des piezoelektrischen Wandlers ist ein Friktionselement angeordnet und es ist eine spezielle Halterung für den piezoelektrischen Wandler vorgesehen, die gleichzeitig ein elastisches Anpressen des Friktionselements an die Friktionsoberfläche des Läufers ermöglicht.

35 Zur Halterung des piezoelektrischen Wandlers und zum Erzeugen der Anpreßkraft des Friktionselements ist jeweils am äußeren Knoten der Biegeschwingungsmode ein elastischer, den Wandler umgreifender Doppelrahmen mit Innen- und Außenrahmen angeordnet. Der Innenrahmen ist jeweils mit den Längsschmalseiten

des Wandlers und der Außenrahmen mit der äußeren Befestigung, die Teil eines Gehäuses sein kann, verbunden. Der Außenrahmen und der Innenrahmen sind beabstandet und über Stege oder Brücken in Kontakt stehend. Der Doppelrahmen ist einstückig und kann aus einem metallischen Material durch Elektroerosion, Ätzen, Laserschneiden oder dergleichen Verfahren hergestellt werden.

Gemäß Fig. 1 ist ein Läufer 1 vorgesehen, welcher eine Friktionsoberfläche 2 besitzt. Der Läufer 1 stützt sich über Lager 3 gegen eine Trägerunterlage 4 ab.

Ein Antriebselement 5 ist elastisch mit dem Läufer 1 in Wirkverbindung stehend. Das Antriebselement 5 wird in einem Gehäuse 6 gehalten.

Das Gehäuse 6 wird beim gezeigten Beispiel mit Hilfe von Schrauben form- und kraftschlüssig auf der Trägerunterlage 4 befestigt. Langlochbohrungen im Gehäuse 6 ermöglichen eine Justage des Gehäuses und damit des Antriebselements 5 hinsichtlich der Lage zum Läufer 1.

Das Antriebselement 5 ist als piezoelektrischer Erreger 8 ausgeführt, der einen monolithischen, plattenförmigen piezoelektrischen Wandler 9 sowie zwei Elektrodenflächen oder Elektrodengruppen und ein auf der Stirnoberfläche 9 angeordnetes Friktionselement 12 enthält.

Die Querbefestigung des piezoelektrischen Wandlers 9 und das Anpressen des Friktionselements 12 an die Friktionsoberfläche 2 des Läufers 1 wird mit Hilfe spezieller Doppelrahmen 13 gewährleistet. Diese elastischen Doppelrahmen 13 umfassen den plattenförmigen piezoelektrischen Wandler 9 an beiden Enden, und zwar jeweils am äußeren Knoten der Biegeschwindungsmode.

Jede der Elektrodengruppen bzw. Elektrodenflächen 10, 11 wird über entsprechende Anschlußleitungen 16 mit einer Schaltungsanordnung zur Ansteuerung verbunden.

Die Doppelrahmen sind außenseits mit Hilfe von Schrauben 14 mit dem entsprechenden Teil des Gehäuses 6 lösbar verbunden.

5 Der prinzipielle Aufbau des piezoelektrischen Erregers 8 ist mit der Fig. 2 dargestellt. Der Erreger 8 enthält den monolithischen, plattenförmigen, piezoelektrischen Wandler 9 mit Friktionselement 12. Auf den größeren Seitenflächen des Wandlers 9 befinden sich flächige Elektroden, die in Gruppen 10, 11
10 verschalten sind.

Die Elektrodengruppe 10 wird durch die zwei oberen Elektroden 17 und 18 und eine untere Elektrode 19 bzw. Rückseitenelektrode gebildet. Die Elektrodengruppe 11 umfaßt die gegenüberliegenden oberen Elektroden 20 und 21 sowie ebenfalls die untere oder
15 Rückseitenelektrode 19. Die Elektroden 17, 21 sowie 18, 20 sind symmetrisch bezüglich der Längsachse des plattenförmigen piezoelektrischen Wandlers 9 ausgeführt. Weiterhin sind die Elektroden 17 und 18 sowie 20 und 21 gemäß Fig. 2 paarweise diagonal elektrisch verschalten. Die zwischen den Vorder- und
20 Rückseitenelektroden liegende Piezokeramik ist homogen und senkrecht zu den Elektrodenoberflächen nach Fig. 2 polarisiert.

Die Länge und die Breite des piezoelektrischen Wandlers 9 sind beim Ausführungsbeispiel so ausgewählt, daß ihr Verhältnis
25 zueinander circa 3,7 beträgt. Dies bedeutet, daß der piezoelektrische Wandler 9 auf die zweite Biege- und die erste Längsschwingungsmoden abgestimmt ist.

Die Resonanzfrequenzen dieser Schwingungsmoden liegen nahe beieinander. Bei einer solchen Lage von Resonanzfrequenzen hat
30 die Verteilung von Schwingungsgeschwindigkeiten für die Biegeschwingungen V_y und für die Longitudinalschwingungen V_x einen Verlauf entlang der Mittellinie gemäß den Darstellungen 22 und 23 bei Fig. 2.

35 Über die Länge L des plattenförmigen Piezowandlers existieren drei Knoten der Schwingungsgeschwindigkeit der Biegemode der Schwingungen, in denen die Querkomponente der Schwingungsgeschwindigkeit V_y gleich null ist. Der Mittelknoten befindet

sich auf der Linie A in der Mitte des plattenförmigen Wandlers 9, wobei zwei Außenknoten auf den Linien B und C verlaufen.

5 An den Stellen 24 der Längsschmalseiten des plattenförmigen piezoelektrischen Wandlers 9, die gleichzeitig den Außenknoten entsprechen, sind die elastischen Doppelrahmen 13, d.h. der Innenrahmenteil befestigt. Diese Stellen befinden sich auf den Linien B und C und sind um den Betrag d von den äußeren Stirn-
10 oberflächen des Piezowandlers 9 entfernt. Die Strecke d entspricht in etwa $1/9$ bis $1/11$ L, wobei der genaue Wert experimentell bestimmbar ist.

Einzelheiten des Aufbaus der flachen elastischen Doppelrahmen 13 sind den Fig. 3 und 4 zu entnehmen. Jeder Doppelrahmen 13
15 besteht aus einem Außenrahmen 25 und einem Innenrahmen 26. Außen- und Innenrahmen sind über einen Spalt getrennt und gegeneinander schwingend beweglich. Der Außenrahmen 25 ist mittels zwei zentral angeordneter Brücken oder Stege 27 mit dem Innenrahmen 26 verbunden. Zwischen den beiden Rahmen 25 und 26
20 und zwischen dem Innenrahmen 26 und den größeren der Seitenoberflächen des plattenförmigen piezoelektrischen Wandlers 9 existieren die bereits erwähnten Spalte 28. Der Außenrahmen 25 hat an beiden seiner seitlichen Flächen 29 Bohrungen oder dergleichen Ausnehmungen 30, die der Befestigung des Rahmens 13
25 am Gehäuse 6, z.B. mit Hilfe der Schrauben 14 (Fig. 1) dienen.

Die flachen, elastischen Doppelrahmen 13 werden bevorzugt aus wärmebehandelten 0,1 bis 0,5 mm starker Berylliumbronze oder einem entsprechenden Stahlband mittels Laserschneidens oder
30 chemischen Ätzens gefertigt. Im gleichen technologischen Herstellungszyklus werden die zwischen den Rahmen liegenden Spalte realisiert. Die Spaltstärke liegt im Bereich zwischen 0,1 bis 0,2 mm. Die zwischen Innenrahmen 26 und den größeren Seiten des plattenförmigen Wandlers 9 befindlichen Spalte 28
35 können im Bereich zwischen 0,05 bis 0,1 mm gewählt werden.

Der Innenrahmen 26 ist mit seinen seitlichen Teilen 31 starr, insbesondere stoffschlüssig an den jeweiligen Längsschmal-

seiten, d.h. den kleineren Seitenflächen des plattenförmigen Wandlers 9 befestigt. Die betreffenden Stellen sind mit dem Bezugszeichen 24 nach Fig. 4 gekennzeichnet.

Die starre Befestigung der Innenrahmenseiten 26 an den kleineren Seitenflächen des plattenförmigen Piezowandlers 9 kann mittels Klebeverbindung durchgeführt werden, indem ein Epoxidharztropfen 32 (siehe Fig. 5 und 6) unmittelbar auf die Piezokeramikoberfläche aufgebracht wird.

Alternativ besteht die Möglichkeit, eine Lötverbindung auszubilden, wobei hier die Seiten des Rahmens 26 mit den zuvor auf die Piezokeramik aufgebrachten Metallzwischenschichten unter Verwendung eines weichen Lötmittels verlötet werden. Die Metallzwischenschicht kann auf die Oberfläche des Piezowandlers 9 an den entsprechenden Stellen 24 durch Vakuumbeschichtung aufgebracht werden. Denkbar sind Mehrschichtstrukturen nach der Art Chrom-Kupfer-Nickel, Titan-Kupfer-Nickel oder dergleichen, die eine gute Lötbarkeit und eine optimierte Verbindung mit der Oberfläche der Piezokeramik besitzen.

Die Fig. 7 zeigt eine Draufsicht eines einsatzbereiten piezoelektrischen Linearantriebs mit einer vergrößerten Darstellung der quasi x-förmigen Deformation der Doppelrahmen 13, wobei hier die Seiten der Innen- und Außenrahmen 29, 31 auf ein Maß h durchgebogen werden. Gemäß Fig. 8 sollen die in bzw. an den Doppelrahmen 13 wirkenden oder dort entstehenden Kräfte näher erläutert werden.

Beim Zusammenbau des piezoelektrischen Antriebs werden zwei längs der X-Achse wirkende und senkrecht zur Friktionsoberfläche 2 des Läufers 1 stehende Hilfskräfte F_0 (siehe Fig. 7) erzeugt. Hierbei stützt sich das Friktionselement 12 auf die Friktionsoberfläche 2 ab und die Doppelrahmen 13 ziehen sich auf die Abstände h auseinander. Die Abstände h werden durch die Elastizität der Doppelrahmen 13 und die resultierende Kraft $2F_0$ bestimmt. Die Kraft $2F_0$ wird gleich der Kraft F_p eingestellt, die das Friktionselement 12 an die

Friktionsoberfläche 1 preßt. Danach wird das Gehäuse 6 mit Hilfe der Schrauben 7 an der Unterlage oder dem Träger 4 befestigt.

Dies führt dazu, daß in den elastischen Doppelrahmen 13 zwei Elastizitätskräfte FS entstehen, die unter dem Winkel α zu den kleineren Seitenflächen des plattenförmigen Piezowandlers 9 wirken, wie dies der Fig. 8 entnommen werden kann.

Nach dem Befestigen des Gehäuses 6 werden die Hilfskräfte F0 aufgehoben.

Als Angriffspunkt der Elastizitätskräfte FS dienen die Stellen 24, an denen die Doppelrahmen 13 an den kleineren Seitenflächen des plattenförmigen Piezowandlers 9 befestigt sind. Jede der Elastizitätskräfte FS wird an den Stellen 24 in zwei Komponenten zerlegt. Eine Komponente ist längs der Seitenfläche gerichtet und wird mit F1 bezeichnet. Die zweite Komponente ist senkrecht hierzu orientiert und wird mit Ft bezeichnet. Die Kräfte FS, F1 und Ft bilden das mit der Darstellung 33 deutlich gemachte Kräftedreieck.

Die Kräfte F1 sind in die Richtung der Friktionsoberfläche 2 des Läufers 1 gerichtet. Diese pressen das Friktionselement 12 an die Friktionsoberfläche 2, wobei die Anpreßkraft Fp durch die Summe der vier Kräfte F1 gebildet ist.

Zusätzlich sind die Kräfte Ft bestrebt, den Wandler 9 bezüglich der Seitenfläche 29 der Doppelrahmen zu verschieben. Die Kräfte Ft sind gegeneinander orientiert und drücken den plattenförmigen Piezowandler 9 zusammen, so daß sie den Kräften F1 entgegenwirken und den Wandler fixieren.

Die Kraft Ft beträgt bezüglich der Kraft F1 ca. $F_t = (F_1 \times H) / h$. Bei den beispielsweise gegebenen Abmessungen des plattenförmigen Piezowandlers von 37 x 10 x 3 mm und des Friktionselements 3 x 3 x 4 mm beträgt die statische Anpreßkraft Fp ca. 10 N. Bei der Stärke der Doppelrahmen von 0,3 mm und deren Abmessungen von 22 x 6 mm entsteht die Kraft von 10 N bei dem Auseinander-

ziehen der Doppelrahmen 13 auf den Abstand von ca. $h = 0,5$ mm. Dies bedeutet, daß bei der Anpreßkraft F_p von 10 N die beiden Elastizitätskräfte F_S ausgehend vom Mittelrahmen 13 eine Druckkraft $F_t = 12,5$ N bilden.

5 Für eine Seite an dem Doppelrahmen 13 beträgt das Verhältnis $F_t/F_l = 3,125$. Dies bedeutet, daß mit der vorgeschlagenen Vorrichtung und Halterung zur Querbefestigung und zum Anpressen des Erregers unter dem Einfluß der statischen Anpreßkraft F_p 10 eine statische zusammendrückende Kraft F_t resultiert, die senkrecht zu den Seitenflächen plattenförmigen Piezowandlers 9 gerichtet sind, und die wesentlich größer als die Verschiebungskraft F_l ist. Eine solche quasi Kräfteumwandlung dient einer guten und sicheren Verbindung der Federanordnung der 15 Doppelrahmen mit dem Piezowandler 9, ohne daß es zur Ausbildung von stark belasteten und damit Sollbruchstellen kommt.

Zusammenfassend zeigt Fig. 8 die Kräftewirkungen, die im Doppelrahmen 13 der Halterung entstehen. Die Kräfte F_S sind die 20 Elastizitätskräfte der flachen Doppelrahmen 13, wobei diese längs der Rahmen 13 wirken und unter dem Winkel α_f an die Längsschmalseiten des plattenförmigen Piezowandlers 9 angreifen. Jede der Kräfte F_t wird in zwei Kräfte zerlegt, nämlich in die Kraft F_l , die senkrecht zur Friktionsoberfläche 2 des 25 Läufers 1 gerichtet ist, und die Kraft F_t , die senkrecht zu den Längsschmalseiten des Piezowandlers 9 gerichtet ist. Die Summe der Kräfte F_l bildet die Anpreßkraft F_p , die das Friktionselement 12 an die Friktionsoberfläche 2 drückt. Die Kräftepaare F_t pressen den Wandler 9 zusammen und fixieren diesen.

30 Ergänzend sei bezüglich der Fig. 9 und 10 auf verschiedene Schwingungsformen aufmerksam gemacht, wobei die Schwingungen nach Fig. 9 auf den Einfluß der Biegemode und die Schwingungen nach Fig. 10 auf diejenigen der Longitudinalmode des Erregers 35 zurückzuführen sind.

Bei der voranstehenden Schilderung des Ausführungsbeispiels wurde bereits das Friktionselement für den piezoelektrischen

Antrieb zum Übertragen von Kräften zwischen Ständer und Läufer erwähnt. Dieses Friktionselement weist hier eine Doppelschichtstruktur auf, wobei deren mit dem Wandler verbundene Teil der Schichtstruktur als harter, poröser Körper und der mit dem Läufer in Kontakt stehende Teil der Schichtstruktur als abriebfester, monolithischer Körper ausgeführt und wobei beide Schichten durch Sintern fest miteinander verbunden sind. In den Poren des mit dem Wandler verbundenen Teils der Schichtstruktur sind Füllstoffe zum Erhalt einer festen Verbindung zwischen der Wandleroberfläche einerseits und dem Friktionselement andererseits befindlich bzw. eingebracht. Diese Füllstoffe sind beispielsweise Epoxidharz und/oder niedrigschmelzende Gläser.

Ausführungsvarianten des Friktionselements mit Doppelschichtstruktur sind der Fig. 11 zu entnehmen. Darstellung 34 zeigt einen rechteckförmigen, Darstellung 35 ein trapez- oder pyramidenstumpfförmiges und Darstellung 36 ein konisches Friktionselement 12.

Die gezeigten Friktionselemente 12 besitzen die erwähnte Doppelschichtstruktur, die hier parallel zur Stirnoberfläche des piezoelektrischen Wandlers 9 angeordnet ist. Die Schicht 37, welche mit der Oberfläche des piezoelektrischen Wandlers 9 verbunden ist, wird als der erwähnte harte, aber poröse Körper ausgeführt, wobei die Schicht 38, die mit der Friktionsoberfläche 4 des Läufers 1 in Kontakt kommt, aus einem harten, abriebfesten monolithischen Material besteht. Als Material für den Läufer können Aluminiumoxid, Zirkonoxid oder ähnliche Werkstoffe Verwendung finden.

Bei der Schaltungsanordnung gemäß Ausführungsbeispiel zum Betreiben eines piezoelektrischen Antriebs, insbesondere eines piezoelektrischen Motors, wobei der Antrieb als piezoelektrischer Erreger aus einem monolithischen, plattenförmigen, im wesentlichen rechteckigen, Elektrodenflächen aufweisen piezoelektrischen Wandler ausgeführt ist und die Elektrodenflächen sich auf der Vorder- und Rückseite der Längsseiten des Wandlers befinden, wird ein Grund- oder Steuergenerator verwendet, der

unmittelbar mit einem ersten Eingang eines zweikanaligen
Brückenleistungsverstärkers und über einen Phasenschieber
mittelbar mit dem zweiten Eingang des Leistungsverstärkers
verbunden ist. Die Ausgänge des Brückenleistungsverstärkers
5 werden über ein Filter auf die Primärseite eines summierenden
Transformators geführt, wobei die Sekundärseite des Transformators
einerseits an die Rückelektrode und andererseits über
eine Umschalter wahlweise an eines der Paare der Vorderseiten-
elektroden angeschlossen ist. Das verwendete Filter ist eine in
10 Serie geschaltete L-C-Anordnung.

Mit Hilfe der Fig. 12 soll eine erste Ausführungsvariante der
Schaltungsanordnung beschrieben werden. Die Schaltungsanord-
nung, die in Fig. 1 mit 15 bezeichnet ist, umfaßt einen Grund-
oder Steuergenerator 39 mit einem frequenzsteuernden Eingang
15 40, einem Brückenleistungsverstärker 41 mit einem ersten 42 und
einem zweiten 43 Kanal und mit einer Spannungsquelle V0 (nicht
dargestellt).

20 Der erste Kanal 42 besteht aus einem Treiberbaustein 44 und der
einen Hälfte des Leistungsverstärkers 45 mit den Schaltertran-
sistoren (FET) 51, 52 und den Ausgangsknoten 53.

Der Eingang des ersten Kanals 42 des Leistungsverstärkers ist
25 direkt am Ausgang des Grundgenerators 39 und der Eingang des
zweiten Kanals 43 über den Phasenschieber 54 an den Ausgang des
Grund- oder Steuergenerators 39 angeschlossen. Der Phasen-
schieber 54 besitzt darüber hinaus einen Steuereingang 55.

30 In die Diagonale des Brückenleistungsverstärkers 41, d.h. an
die Ausgänge 48 und 53 ist der erwähnte Summierer des Trans-
formators 56 und ein L-C-Serienglied als Filter 57 einge-
schleift.

Die Sekundärwicklung des Transformators 54 wird über den
35 Umschalter 58 mit jeweils einer der Elektrodengruppen 10, 11
des piezoelektrischen Wandlers 9 verbunden.

Fig. 13 zeigt erläuternde Spannungsverlaufsdigramme zum Verständnis des Motorbetriebs.

Die in den Diagrammen 59, 62 und 65 erkennbaren Spannungsverläufe V1 treten am Ausgang 48 des Brückenleistungsverstärkers 45 auf. Die Verläufe gemäß den Diagrammen 60, 63 und 66 zeigen die Spannungen V2 am Ausgang 53 des Brückenleistungsverstärkers 50. Die Darstellungen nach 61, 64 und 67 betreffen die Spannungen Ue1, Ue2, Ue3 bei unterschiedlichen Phasenverschiebungen ϕ_1 , ϕ_2 und ϕ_3 zwischen den Spannungen V1 und V2. Die Zeiten t1 und t2 entsprechen den Anschlußzeiten der Spannungsquelle V0 an die Primärwicklung des summierenden Transformators 56 für die erste T1- und die zweite T2-Periodenhälfte.

Fig. 14 dient der Erläuterung der Arbeitsweise des mit der Fig. 12 erläuterten schaltungsanordnungsgemäßen Teils zum Antrieb des Motors. Das Diagramm 68 zeigt hierbei die Abhängigkeit des Phasenverschiebungswinkels ϕ des Phasenschiebers 54 zwischen seinen Eingangs- und Ausgangssignalen bezüglich der Spannung UV am Steuereingang 55. Das Diagramm 69 läßt die Abhängigkeit des Phasenverschiebungswinkels ϕ und der Spannung Ue an der Sekundärwicklung des summierenden Transformators 56 erkennen.

Bei der weiteren schaltungstechnischen Ausführungsform zum Betreiben eines piezoelektrischen Antriebs gemäß Fig. 15 ist zusätzlich ein Signalpegelwandler 70, ein Komparator 71 mit nichtinvertierendem 72 und invertierendem Eingang 73 und ein elektronischer Elektrodengruppenkommutator 74 vorgesehen.

Der Eingang 75 des Signalpegelwandlers 70 ist mit dem Komparatoreingang 76 verbunden. Der Ausgang 77 des Signalpegelwandlers 70 ist an den Eingang 55 des Phasenschiebers 54 angeschlossen. Die Komparatorausgänge 72, 73 sind mit den Eingängen 78, 79 des Elektrodengruppenkommutators verbunden, wobei dessen kommutierende Anschlüsse 80, 81 zu den zwei Elektrodengruppen 10, 11 führen.

Wie der Fig. 16 und den dort gezeigten Diagrammen entnommen werden kann, ergibt sich gemäß Diagramm 82 eine spezielle

Abhängigkeit der an dem Ausgang 77 des Signalpegelwandlers 70 liegenden Spannung U_ϕ von der am Ausgang 75 anliegenden Spannung U_r . Das Diagramm 83 zeigt die Abhängigkeit des Phasenverschiebungswinkel ϕ am Eingang und Ausgang des Phasenschiebers 54 bezüglich der Spannung U_r . Diagramm 84 offenbart die Abhängigkeit der Spannung U_k an dem nichtinvertierenden Komparatoreingang 72 von der Spannung U_r . Die Abhängigkeit der Bewegungsgeschwindigkeit des Läufers 1 von der Spannung U_r ist mit dem Diagramm 85 deutlich gemacht.

Gemäß der Darstellung nach Fig. 17 besteht die Möglichkeit, auf den plattenförmigen piezoelektrischen Wandler 9 einen Biegesensor 86 anzuordnen, welcher mechanische Biegeschwingungen des Erregers 8 feststellt.

Der Sensor 86 ist als dünne piezoelektrische Platte mit der Länge L_s , der Höhe H_s und der Stärke D_s als Platte 87 ausgebildet. Die Darstellung 88 zeigt den Sensor in Seitenansicht.

Auf den zwei Hauptseiten der piezoelektrischen Platte des Sensors sind Elektroden 89 und 90 angeordnet. Die Platte 87 hat zwei der Länge nach gleiche Teile 90 und 91, in denen die Piezokeramik in zwei entgegengesetzten Richtungen, senkrecht zu den Elektroden 88 und 89, polarisiert ist. Die Polarisation ist mit den Pfeildarstellungen symbolisch gezeigt.

Die Plattenabmessungen 87 des Sensors 86 werden durch die Abmessungen des plattenförmigen piezoelektrischen Wandlers 9 des eigentlichen Erregers bestimmt. Die Plattenlänge L_s soll gleich der Breite des Wandlers sein, wobei die Breite H_s im Bereich zwischen 0,02 bis 0,2 der Länge L liegt. Die Stärke D_s soll unter Beachtung technologischer Möglichkeiten minimiert werden. Typischerweise liegt die Stärke D_s im Bereich zwischen 0,1 bis 0,3 mm.

Die Platte 87 des Sensors 86 wird auf der Oberfläche des plattenförmigen piezoelektrischen Wandlers 9 mit diesem verbunden, und zwar auf der unteren Elektrode (Rückseiten-elektrode) 19 und dort in der Mitte zwischen dem mittleren

Knoten der Biegemode der Schwingungen und einem der Seitenknoten, d.h. in der Mitte zwischen den Linien A und B oder A und C, senkrecht zu den Längsschmalseiten des Piezowandlers verlaufend.

- 5 Die Befestigung des Sensors 86 auf der Wandleroberfläche 9 kann durch Kleben unter Verwendung von Epoxidharz oder durch Löten mit Hilfe eines Weichlots erfolgen.

- 10 Bezüglich der Funktionsweise des Biegesensors 86 mit Blick auf die zu detektierenden mechanischen Biegespannungen sei auf die Fig. 18 verwiesen. Die Darstellung 92 zeigt die Abhängigkeit der Bewegungsgeschwindigkeit V_f des Läufers 1 von der Kreisfrequenz ω des Grundgenerators 39. Die Kreisfrequenz ω_0 entspricht der Höchstgeschwindigkeit des Läufers 1. Mit Hilfe der
15 Darstellung 93 wird die Abhängigkeit der an den Elektroden 89, 90 des Sensors 87 liegenden Spannung U_s von der Kreisfrequenz ω des Grundgenerators 39 gezeigt, wobei die Darstellungen 94 und 95 Frequenzabhängigkeiten der Phasenverschiebung der Spannung U_s und der Spannung U_e an einer der Elektrodengruppen
20 symbolisieren.

- Die Ausgangssignale des Biegesensors 86 werden, wie in der Fig. 19 prinzipiell gezeigt, in die Schaltungsanordnung zur Steuerung und zum Betreiben eines piezoelektrischen Antriebs einge-
25 bunden. Zusätzlich ist hier der Phasendetektor 96 mit Phasestützeingang 97, Phasensteuerungseingang 98 und Steuersignalausgang 99 vorgesehen.

- Die Elektrode 90 einer der Elektrodengruppen 10 oder 11 ist am
30 Stützsignalerzeuger 100 angeschlossen, welcher einen Signalebegrenzer 101 sowie einen Komparator 102 umfaßt. Der Ausgang 103 des Stützsignalerzeugers 100 ist mit dem Eingang 97 des Phasendetektors 96 verbunden. Die Elektroden 90, 89 des Biegesensors 86 sind an die Eingänge 104, 105 des Steuersignalerzeugers 106 gelegt. Der Steuersignalerzeuger umfaßt weiterhin
35 einen Trenntransformator 107, ein Filter 108, einen Komparator 109 und einen Steuerinverter 110 mit Steuereingang 111. Der

Ausgang 112 des Steuersignalerzeugers 106 ist mit dem Steuerungssignaleingang 98 des Phasendetektors 96 verbunden.

Die Funktionsweise vorstehend beschriebener Schaltungen ergibt sich wie folgt. Mit Inbetriebnahme wird eine Spannung erzeugt, deren Frequenz ω gleich der Resonanzfrequenz des mechanischen Resonators in der zweiten Mode der Biegeschwingungen des Erregers 8 ist. Diese Spannung wird über die Anschlüsse 16 an eine der Elektrodengruppen 10 oder 11 des plattenförmigen piezoelektrischen Wandlers 9 geführt. Die Elektrodengruppe 10 wird durch die zwei elektrisch miteinander verbundenen oberen Elektroden 17, 18 und die untere Elektrode 19 (siehe Fig. 2) gebildet.

Die Elektrodengruppe 11 resultiert aus den zwei elektrisch miteinander verbundenen oberen Elektroden 20 und 21 sowie der unteren Elektrode 19. Die elektrische Spannung der Schaltungsanordnung 15 wird entweder an die Elektroden 17, 18 und 19 oder an die Elektroden 20, 21 und 19 geführt.

Die Länge L und die Breite H des plattenförmigen piezoelektrischen Wandlers 9 sind so gewählt, daß die mechanischen Resonanzfrequenzen der zweiten Biege- und der ersten Longitudinalmode der Schwingungen des Erregers nahe beieinander liegen. Üblicherweise ist die Resonanzfrequenz der Longitudinalschwingungen um einen gegebenen Betrag größer als die Resonanzfrequenz der Biegeschwingungen, deshalb ist beim gezeigten Beispiel das Verhältnis L:H ungefähr 3:7 gewählt.

Dadurch, daß die Elektroden 17, 18 und 20, 21 bezüglich der Längsachse des plattenförmigen Erregers diagonal verbunden sind, ist die Wirkung der angelegten Spannung unsymmetrisch. Aufgrund dessen werden im Erreger gleichzeitig Biege- und Longitudinalschwingungen erzeugt. Da die Amplitude dieser Schwingungen mit Bezug auf die Größe des Erregers klein ist, können diese Schwingungen unabhängig voneinander betrachtet werden.

Gemäß Diagramm 22 nach Fig. 2 ergibt sich eine Verteilung von Querschwingungsgeschwindigkeiten V_y entlang der Oszillatorlänge L , die aufgrund der Biegedeformation des Erregers 8 entsteht. Diagramm 23 nach Fig. 2 offenbart die Verteilung von Längsschwingungsgeschwindigkeiten V_x , die aufgrund der Längsdeformationen des Erregers entstehen. Die gegenseitige Schwingungsüberlagerung führt dazu, daß das Friktionselement 12 des Erregers 8 elliptische Bewegungen in der x-y-Ebene ausübt. Diese elliptischen Bewegungen werden durch das an die Friktionsoberfläche des Läufers nachgiebig angepreßte Friktionselement 12 auf den Läufer übertragen und führen zur gewünschten Bewegung desselben.

An den kleineren Seitenoberflächen des plattenförmigen Wandlers, d.h. den Längsschmalseiten, befinden sich drei Knoten der Schwingungsgeschwindigkeiten V_y , in denen die Schwingungsgeschwindigkeit V_y gleich null ist. Die betreffenden Schwingungsknoten sind an den Linien A, B und C (siehe Diagramm 23 nach Fig. 2) angeordnet. Mit anderen Worten befinden sich an jeder der Längsschmalseiten des plattenförmigen piezoelektrischen Wandlers drei Stellen, an denen keine Querkomponenten der Schwingungsgeschwindigkeit V_y existieren. Demnach sind die Stellen mit dem Bezugszeichen 24 in der Nähe der Linien B und C bevorzugt geeignet, um ein Befestigen des plattenförmigen piezoelektrischen Wandlers unter dem Gesichtspunkt der auftretenden statischen und dynamischen Belastungen des Läufers vorzunehmen.

Die spezielle Halterung mit Doppelrahmen, d.h. die Vorrichtung zur Querbefestigung und zum Anpressen ist so ausgelegt, daß sie in Querrichtung X absolut elastisch für die dynamischen Kräfte ist, die mit der Frequenz ω_0 seitens des piezokeramischen Wandlers wirken.

Für die statische Kraft, die entlang der Längsachse X wirkt, funktioniert die Vorrichtung wie eine elastische Feder, die die zum Anpressen des Friktionselements 12 an die Friktionsoberfläche 2 des Läufers notwendige Kraft erzeugt. Entlang der

Achse Y werden keine dynamischen Kräfte von der Seite des piezoelektrischen Wandlers mit der Frequenz ω_0 erzeugt, da keine Komponente der Schwingungsgeschwindigkeit V_y existiert. Für die Kräfte, die in der Querrichtung entlang der Y-Achse wirken, ist demnach die Halterung starr.

Bezüglich des Aufbaus der Doppelrahmen sei auf die vorangehende Beschreibung unter Zuhilfenahme der Figuren 1 bis 6 verwiesen.

Im Funktionszustand des Motors greifen am Gehäuse 6 statische Hilfskräfte F_p an, die entlang der X-Achse und senkrecht zur Friktionsoberfläche 2 des Läufers 1 gerichtet sind, wie dies anhand der Fig. 7 dargestellt ist. Hierbei stützt sich das Friktionselement 12 an der Friktionsoberfläche 2 ab und die Doppelrahmen 13 werden in kleine, gleiche Entfernungen h auseinandergezogen, die durch die Elastizität der Doppelrahmen und die resultierende Kraft $2F_p$ bestimmt ist.

Die resultierende Kraft $2F_p$ ist so gewählt, daß sie gleich der statischen Anpreßkraft des Friktionselements 12 an die Friktionsoberfläche 2 des Läufers 1 ist. Hiernach wird das Gehäuse 6 mit Hilfe der Schrauben 7 an der Trägerunterlage 4 befestigt. Nachdem das Gehäuse derartig fixiert wurde, ergibt sich die Kraft $2F_p$ durch die Elastizität und die Federwirkung der Doppelrahmen 13, wobei die Hilfskräfte $2F_p$ aufgehoben werden können.

Bei beispielsweise Abmessungen des plattenförmigen piezoelektrischen Wandlers von $37 \times 10 \times 3$ mm und des Friktionselements von $3 \times 3 \times 4$ mm ergibt sich eine statische Anpreßkraft $2F_p$ des Friktionselements 12 an die Friktionsoberfläche 2 in Höhe von 10 N. Bei einer Doppelrahmenstärke von 0,3 mm und Abmessungen des Doppelrahmens von im wesentlichen 22×6 mm ergibt sich die Kraft von 10 N beim Auseinanderziehen des Doppelrahmens auf einen Abstand $h = 0,5$ mm.

Wie aus dem Kräftedreieck der Darstellung 33 gemäß Fig. 8 entnommen werden kann, ergeben sich durch die spezielle

Doppelrahmenanordnung und der Wirkung der statischen Anpreßkraft $2F_p$ zwei statische zusammendrückende Kräfte F_t , die senkrecht zu den kleineren Seitenoberflächen des plattenförmigen Piezowandlers wirken und welche wesentlich größer als die eigentliche Anpreßkraft $2F_p$ ist. Eine derartige Kräftezerlegung oder Kräfteumwandlung erhöht, wie dargelegt, die Verbindungszuverlässigkeit der Doppelrahmen-Federanordnung mit dem Piezowandler 9.

10 Zurückgehend auf die Fig. 9 und 10 wurden dort Schwingungsformen der Doppelrahmen 13 dargestellt, die sich unter der Biege- und Longitudinalmode der Schwingungen des Erregers einstellen. Die seitlichen Teile der Außenrahmen sind fest mit dem Gehäuse 6 verbunden und schwingen nicht. Die Biegemoden der
15 Schwingungen verursachen ein Drehen der Seiten 31 des Innenrahmens 26 um den Punkt 0 um einen kleinen Winkel α . Hierbei haben die Schwingungen eine Amplitude ΔAb . Die Amplitude ΔAb ist klein und beträgt bei einer Piezolänge von $L=37\text{mm}$ etwa $0,01$ bis $0,5\mu\text{m}$. Die Schwingungen der Doppelrahmen
20 sind gemäß Fig. 9 durch eine Strichlinie repräsentiert. Die Innenrahmen 26 jeweils drehen sich um den Steg oder die jeweilige Brücke 27.

Die Longitudinalschwingungsmode führt zur Querverschiebung der
25 Innenrahmenseiten 31, wobei die Schwingungsamplitude in diesem Fall ca. 3 bis $6\mu\text{m}$ (siehe Fig. 10) beträgt. Die Schwingungsform des Doppelrahmens 13 gemäß Fig. 10 ist ebenfalls durch eine Strichlinie deutlich gemacht. Der Innenrahmen 26 und ein Teil des Außenrahmens 25 bewegen sich beim Schwingen symmetrisch,
30 und zwar hinsichtlich der befestigten Seiten 29 des Außenrahmens 25.

In beiden oben genannten Fällen verursachen die Schwingungen des Wandlers Biegebewegungen der Doppelrahmen.

35 Der Wandler und die mit ihm verbundenen Doppelrahmen wirken wie ein Schwingungssystem, wobei die Rahmen in das System eine niedrige reaktive Komponente und nahezu keine aktive Komponente einführen, da die Rahmen aus einem Werkstoff gefertigt sind,

der eine hohe mechanische Güte besitzt. Beispielsweise beträgt die mechanische Güte von wärmebehandeltem Stahl oder Berylliumbronze mehr als 2000.

- 5 Demnach erfüllt die Halterung gemäß der Erfindung gleichzeitig zwei unterschiedliche Funktionen. So wird nämlich der Erreger in Querrichtung fixiert und es wird gleichzeitig das Friktionselement an die Friktionsoberfläche des Läufers gedrückt.
- 10 Dadurch, daß der vorbeschriebene piezoelektrische Motor sehr niedrige Innenverluste aufweist, können sehr hohe Translationsgeschwindigkeiten des Läufers erreicht werden, wobei hier Werte größer 1 bis 1,5 m/s denkbar sind.
- 15 Zur Übertragung der Reibungskräfte besitzt das erfindungsgemäße Friktionselement eine Doppelstruktur, um eine Verbindung zwischen Friktionselement und Piezokeramikoberfläche hoher Qualität zu gewährleisten und andererseits eine ausreichende Langzeitstabilität insbesondere gegen Abrieb an der Reibungs-
- 20 oberfläche zu erreichen.

Zur Verbindung des Friktionselements mit der erfindungsgemäßen Doppelstruktur hinsichtlich der Piezokeramikoberfläche wird ein Klebstoff verwendet, der eine optimale Verbindungsqualität mit

25 der Keramik gewährleistet, wobei hier auf spezielle Epoxidharzsorten oder niedrigschmelzende Gläser verwiesen wird. Beim Kleben des zweischichtigen Friktionselements werden die Poren der porösen unteren Schichten mit einem Klebstoff aufgefüllt, so daß sich die gewünschte Verbindungssicherheit einstellt.

- 30
- Schaltungsanordnungsseitig erzeugt der Grund- oder Steuergenerator 39 eine periodische elektrische Schwingung mit der Frequenz, die gleich der mechanischen Resonanzfrequenz der Biegemode ω_0 ist. Diese Spannung wird einerseits direkt an den
- 35 Eingang des ersten Kanals des Brückenleistungsverstärkers und andererseits an einen Phasenschieber gegeben. Der Ausgang des Phasenschiebers ist mit dem Eingang des zweiten Kanals des Brückenleistungsverstärkers verbunden. Beide Kanäle des

Leistungsverstärkers besitzen Treiber, die eine rechteckige Spannung an die Steuerelektroden der Feldeffekttransistoren erzeugen, so daß an den Ausgängen der Halb-Brückenverstärker stets rechteckige symmetrische Spannungen V_1 , V_2 vorhanden sind. Der Phasenschieber verschiebt die an seinem Eingang vom Grundgenerator 39 kommende Spannung um einen Winkel ϕ . Der Winkel ϕ wird durch die an den Eingang des Phasenschiebers liegenden Steuerspannung U_ϕ bestimmt. Bezüglich der Abhängigkeit zwischen der Phasenverschiebung und der Steuerspannung U_ϕ sei nochmals auf Fig. 14, Darstellung 68 aufmerksam gemacht. Diese Abhängigkeit kann auch einen Verlauf gemäß Strichlinie besitzen.

Die am Steuereingang des Phasenschiebers anliegende Steuerspannung U_ϕ verändert die Phasenverschiebung ϕ zwischen den Spannungen V_1 und V_2 , die in den Zweigen des Brückenleistungsverstärkers anliegen. Ausgangsseitig ist am Brückenleistungsverstärker der summierende Transformator angeschlossen.

Bei Veränderung der Phasenverschiebung zwischen den Spannungen V_1 und V_2 ändert sich die Durchgangsleitzeit t_1 und t_2 durch die Schalttransistoren des Brückenleistungsverstärkers und den summierenden Transformator, der in beide Spannungsrichtungen V_0 geschaltet ist. Während der Zeit t_1 sind die Transistoren 46 und 52 und während der Zeit t_2 die Transistoren 47 und 50 geöffnet. Die in der Diagonale des Brückenleistungsverstärkers 41 liegende und abgreifbare Spannung (Ausgänge 48 und 53) hat eine rechteckige Form und besitzt eine vom Winkel ϕ abhängige Dauer t_1 und t_2 . Während der Zeiten (T_1-t_1 und T_2-t_2) sind die Ausgänge 48 und 53 des Brückenleistungsverstärkers verbunden, im ersten Fall durch die Transistoren 47 und 52, im zweiten Fall durch die Transistoren 46 und 52.

Durch das in Reihe mit der Primärwicklung des summierenden Transformators geschaltete LC-Bandfilter 57 fließt durch den Transformator praktisch nur der Strom der ersten Harmonischen der an den Ausgängen 48 und 53 liegenden Spannung. Hierdurch hat die an der Sekundärwicklung des summierenden Transformators

anliegende Spannung U_e einen sinusförmigen Verlauf. Die Amplitude dieser Spannung (U_{e1} , U_{e2} , U_{e3}) hängt von der Dauer t_1 und t_2 ab und ergibt sich auch in Abhängigkeit von der Phasenverschiebung ϕ (ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3) zwischen den Spannungen V_1 und V_2 .

5 Bezüglich dieser Abhängigkeit wird auf die Darstellung 69 gemäß Fig. 14 verwiesen.

Der Phasenverschiebungswinkel ϕ verändert sich durch die geänderte Steuerspannung U_ϕ , die am Eingang 55 des Phasenschiebers
10 54 anliegt. Hierdurch ist die Spannung U_e an der Sekundärwicklung des summierenden Transformators auch von der Spannung U_ϕ abhängig. Die Spannung U_e regt den piezoelektrischen Wandler an. Die Amplitude der Spannung U_e bestimmt hierbei die Schwingungsamplitude des Wandlers. Bei Änderungen der Spannung U_ϕ
15 ergibt sich auch eine Geschwindigkeitsänderung des Läufers 1.

Der mit der beschriebenen Schaltungsanordnung ansteuerbare piezoelektrische Motor ermöglicht also eine Geschwindigkeitssteuerung des Läufers durch die Änderung der am Steuereingang
20 des Phasenschiebers anliegende Steuerspannung U_ϕ . Hierbei kann die Motorsteuerung quasi ohne Energieverlust realisiert werden, da die Ausgangstransistoren des Leistungsverstärkers 41 sich stets im Schaltbetriebmodus befinden.

25 Die Spannung U_e wird an die Elektrodengruppen 10 oder 11 angelegt, wobei eine Umschaltung mit Hilfe des entsprechenden Schalters 58 möglich ist. Durch Umschaltung kann die Bewegungsrichtung des Läufers geändert werden.

30 Wie anhand der Fig. 15 erläutert, besteht bei einer Ausführungsform der Steuerschaltung die Möglichkeit, Läufergeschwindigkeit und Richtung durch einpolige Steuerspannungen U_r vorzugeben. Hierfür ist zusätzlich der Signalpegelwandler, Komparator und der Elektrodengruppenkommutator vorgesehen.

35

Bei einer Steuerspannung von $0,5 U_r$ befindet sich der Läufer in einem abgebremsten Zustand, hingegen bei einer Spannung im Bereich 0 oder U_r selbst erfolgt eine Bewegung mit maximaler

Geschwindigkeit. Die Abhängigkeit der Ausgangsspannung des Signalpegelwandlers von der Eingangsspannung U_r ist mit der Darstellung 28 gemäß Fig. 16 gezeigt. Bei der Erhöhung der Steuerspannung U_r erhöht sich auch die Ausgangsspannung U_ϕ linear und erreicht bei der Spannung $0,5 U_r$ den maximalen Wert. Mit einer weiteren Erhöhung der Spannung U_r verringert sich die Spannung U_ϕ linear. Da die Spannung U_ϕ an den Steuereingang des Phasenschiebers gelangt, führt die Erhöhung der U_r zunächst zur Verkleinerung des Phasenverschiebungswinkels und danach zu einer Vergrößerung desselben, wie dies in der Darstellung 83 in Fig. 16 deutlich gemacht ist.

Zwischen dem Spannungswert $0,5 U_r$ und 0 befindet sich der Komparator in einem ersten Zustand. An seinem nichtinvertierenden Ausgang 72 steht dann der logische Wert 1 und am invertierenden Ausgang 73 der logische Wert 0 an. Bei einem solchen Zustand des Komparators 71 ist der Ausgang 80 des elektronischen Kommutators zusammengeschlossen und der Ausgang 81 geöffnet, wobei sich hier der Läufer mit der Geschwindigkeit V_f bewegt. Der Punkt $0,5 U_r$ ist der Umkehrpunkt der Bewegung des Läufers. Bei Durchgang durch diesen Punkt $0,5 U_r$ schaltet der Komparator 71 um, was zum Invertieren der Signale an den Ausgängen 72 und 73 und an den Eingängen 78 und 79 des Elektrodengruppenkommutators 74 führt. Letzteres führt zur Zustandsänderung des Kommutators 74. Sein Ausgang 80 wird nun geöffnet und der Ausgang 82 zugeschaltet. Hier ändert nun der Läufer seine Bewegungsrichtung. Eine weitere Verringerung der Spannung U_r verursacht die Erhöhung des Phasenverschiebungswinkels ϕ und eine Geschwindigkeitserhöhung V_f des Läufers.

Beim Betrieb von piezoelektrischen Motoren in einem breiten Temperaturbereich tritt eine Temperaturverschiebung der mechanischen Resonanzfrequenz ein. Dieser Effekt ist umso mehr ausgeprägt, je höher die Oszillatorgüte ist, d.h. je kleiner seine mechanischen Verluste sind. Die Temperaturverschiebung der Resonanzfrequenz behindert einen stabilen Motorbetrieb. Um diesen Effekt zu vermeiden, folgt die Erregerfrequenz des Grundgenerators in einer erläuterten Ausführungsform des Motors

den Temperaturänderungen der Resonanzfrequenz der Biegeschwingungs-
mode des piezoelektrischen Erregers. Hier wird mit Hilfe
eines Biegesensors die mechanische Biegekomponente der Span-
nungen bestimmt und ein entsprechendes Sensorsignal abgeleitet,
5 das einem Rückkopplungsweig zugeführt wird.

Der flache plattenförmige Aufbau des Sensors mit einer Zwei-
richtungspolarisation ermöglicht das Selektieren einer Kompo-
nente einer elektrischen Spannung U_s , die proportional zur
10 Komponente des mechanischen Erregers ist, und die ihrerseits
wiederum proportional zur Schwingungsgeschwindigkeit der
Biegemode des Erregers steht.

Das Durchbiegen oder Verbiegen des plattenförmigen Wandlers in
15 der Ebene XY längs der X-Achse führt zum Zusammenpressen einer
Hälfte der Biegesensorplatte 87 und zum Auseinanderziehen der
anderen Hälfte 90 bzw. 91 des Sensors 86. Bei einer solchen
Sensorkonstruktion sind die von jeder Plattenhälfte 90 und 91
erzeugten Spannungen gleich groß und unipolar sowie propor-
20 tional zu den mechanischen Erregerspannungen. Die Längsdefor-
mation der Platte 87 als Folge der auf den Sensor 86 wirkenden
Longitudinalschwingungsmode führt zum Zusammenpressen und Aus-
einanderziehen der Hälften 90 und 91, so daß gleiche, dem Vor-
zeichen nach aber unterschiedliche einander kompensierende
25 Spannungen erzeugt werden.

Aus den Diagrammen 92 und 93 nach Fig. 18 ist die Abhängigkeit
der Laufergeschwindigkeit V_f und Spannungsamplitude U_s an den
Elektroden 89 und 90 des Sensors 86 von der Erregerfrequenz ω
30 nachvollziehbar. Diese Abhängigkeiten bilden einander ab, wobei
das Geschwindigkeitsmaximum V_f dem Spannungsmaximum U_s ent-
spricht. Beide Maxima befinden sich am Punkt der mechanischen
Resonanzfrequenz der Biegeschwingungsmode ω_0 .

35 Die Diagramme 94 und 95 stellen Abhängigkeiten des Phasenver-
schiebungswinkels ϕ_f zwischen Erregerspannung U_e dar, die sich
an einer Elektrodengruppe ergeben, und zeigen andererseits die
Spannung U_f , die sich an den Elektroden 89 und 90 des Sensors

86 einstellt. Dem Maximalwert der Bewegungsgeschwindigkeit V_s entspricht der Phasenverschiebungswinkel $\phi_s = 90^\circ$. Beim Umschalten der Elektrodengruppen von Gruppe 10 auf Gruppe 11 verändert sich der Phasenverschiebungswinkel ϕ_s auf 180° , d.h. bis hin zu -90° . Die in der Darstellung 95 nach Fig. 18 gezeigte Abhängigkeit des Phasenverschiebungswinkels ϕ_s von der Erregerfrequenz ω erstreckt sich über einen breiten Temperaturbereich, wobei diese Abhängigkeit als Rückkopplungsvariante genutzt wird, um unter Berücksichtigung der Temperaturänderungen und der veränderten Resonanzfrequenz den Grundgenerator nachzuführen.

Der hierfür notwendige Rückkopplungsweig schließt den Sensor 86 und den Phasendetektor 96 ein. Der zusätzlich vorhandene Phasendetektor erzeugt ein Fehlersignal, das proportional der Phasenabweichung ϕ_f zwischen den Spannungen an seinem Stützeingang 97 und am Steuereingang 98 bezüglich eines Werts 90° oder einem anderen vorgegebenen Wert ist.

Das Fehlersignal wird vom Ausgang 99 an den Steuereingang 40 des Grundgenerators 39 weitergegeben, wodurch dessen Erregerfrequenz so verändert wird, daß die Phasendifferenz stets gleich einem vorgegebenen Wert ϕ_s bleibt.

Als Stützsinal wird die Spannung U_e an einer der Elektrodengruppen 10 oder 11 verwendet. Diese Spannung wird durch den Begrenzer 101 begrenzt und durch den Komparator 102 umgeformt. Das Steuersignal ist in diesem Fall die an den Sensorelektroden 89 und 90 anliegende Spannung U_s . Die Spannung U_s wird zunächst an den Trenntransformator 107 gegeben, wobei im Anschluß mittels eines Filters 108 die erste Harmonische herausgefiltert wird und über den Komparator 109 eine Umformung in ein Rechtecksignal erfolgt. Der Komparatorausgang 109 ist mit dem gesteuerten Inverter 110 verbunden, dessen Steuereingang mit einem der Komparatorausgänge 72 oder 73 in Verbindung steht. Die Phase des Steuersignals wird durch den gesteuerten Inverter 110 in Abhängigkeit von der ausgewählten Elektrodengruppe 10 oder 11 um 180° gedreht. Im Anschluß wird das Signal vom Aus-

gang 112 des Inverters 110 an den Steuereingang 98 des Phasendetektors 96 weitergeleitet.

5 Mit der vorstehend beschriebenen Schaltung kann die Resonanzfrequenz des Grundgenerators gleich der mechanischen Resonanzfrequenz des Erregers über einen breiten Temperaturbereich gehalten werden, so daß der Motorbetrieb nahezu temperaturunabhängig mit hoher Präzision durchgeführt werden kann.

10 Der vorgestellte piezoelektrische Antrieb, insbesondere piezoelektrische Motor, besitzt niedrige mechanische Verluste durch die spezielle Halterung mittels Doppelrahmen. Die Verluste können durch die effektive Güte des unbelasteten Erregers
15 abgeschätzt werden, d.h. im Betriebsfall ohne Kontakt mit dem Läufer. Die ermittelte Güte des unbelasteten Erregers liegt zwischen 500 und 700. Demnach können in etwa zehnmal bessere typische Effektivwerte im Vergleich zu bekannten Motoren erreicht werden. Bei der vorgeschlagenen Lösung
20 erwärmen sich die Verbindungsstellen des piezoelektrischen Wandlers mit der Halterung praktisch nicht, wodurch es keine zusätzliche Erregererwärmung gibt. Auch dies trägt zu einem verbesserten und stabilen Motorbetrieb bei. Der Motor besitzt daher eine günstigere Energiebilanz und einen höheren Wirkungsgrad. Die Erregerspannung kann bis zu dreimal kleiner sein
25 als bei bekannten Lösungen. Ebenso ist die Präzision der Positionierung hoch und reicht bis in den Bereich einiger Nanometer hinein, was eine an sich theoretische Grenze darstellt.

Bezugzeichen

	1	Läufer
	2	Friktionsoberfläche
5	3	Lager
	4	Unterlage oder Träger
	5	Antriebselement
	6	Gehäuse des Antriebselements
	7	Befestigungsschrauben des Gehäuses
10	8	Piezoerreger
	9	plattenförmiger piezoelektrischer Wandler
	10, 11	Elektrodengruppe
	12	Friktionselement
	13	flacher, elastischer Doppelrahmen
15	14	Befestigungsschrauben des Doppelrahmens
	15	Treiberanordnung für den piezoelektrischen Wandler
	16	Anschlußdrähte
	17, 18	obere Elektrode
	19	untere Elektrode
20	20, 21	obere Elektrode
	22	Diagramme mit Darstellung der Schwingungsgeschwindigkeiten der Biegeschwingungsmoden
	23	Diagramme der Schwingungsgeschwindigkeiten der Longitudinalschwingungsmoden
25	24	Befestigungsstellen des flachen elastischen Doppelrahmens
	25	Außenrahmen
	26	Innenrahmen
	27	Steg oder Brücke bzw. Mittelüberbrückung zwischen
30		Innen- und Außenrahmen
	28	Luftspalt
	29	Seite des Außenrahmens
	30	Befestigungsbohrungen im Außenrahmen
	31	Seite des Innenrahmens
35	32	Kleber oder Lottropfen
	33	Kräfte-dreieck
	34 - 36	Ausführungsvarianten des Friktionselements
	37	poröser Schichtteil

	38	monolithischer Friktionsschichtteil
	39	Grundgenerator
	40	Steuereingang des Grundgenerators
	41	zweikanaliger Brückenleistungsverstärker
5	42	erster Kanal des Brückenleistungsverstärkers
	43	zweiter Kanal des Brückenleistungsverstärkers
	44	Treiber des ersten Kanals
	45	Halbbrücke des Leistungsverstärkers
	46	oberer Transistor des Leistungsverstärkers
10	47	unterer Transistor des Leistungsverstärkers
	48	Ausgang des Leistungsverstärkers
	49	Treiber des zweiten Kanals des Leistungsverstärkers
	50	Halbbrücke des Leistungsverstärkers
	51	oberer Transistor des Leistungsverstärkers
15	52	unterer Transistor des Leistungsverstärkers
	53	Ausgangs des Leistungsverstärkers
	54	Phasenschieber
	55	Steuereingang des Phasenschiebers
	56	summierender Transformator
20	57	Filter
	58	Elektrodengruppenumschalter
	59 - 67	Spannungsdiagramme
	68, 69	Erläuterungsdiagramme bezüglich der Arbeitsweise der Schaltungsanordnung
25	70	Signalpegelwandler
	71	Komparator
	72	nichtinvertierender Komparatorausgang
	73	invertierender Komparatorausgang
	74	elektrischer Elektrodengruppenkommutator
30	75	Steuereingang des Signalpegelwandlers
	76	Komparatorausgang
	77	Ausgang des Signalpegelwandlers
	78, 79	Steuereingänge des elektronischen Kommutators
	80, 81	Ausgänge des elektronischen Elektrodengruppenkommu- tators
35	82, 85	Erläuterungsdiagramme zur Wirkungsweise der Schaltungsanordnung
	86	Biegesensor

	87	piezoelektrische Sensorplatte des Biegesensors
	88	Darstellung der piezoelektrischen Platte des Biegesensors
	89, 90	Elektroden des Biegesensors
5	91	Abschnitt des Biegesensors
	92 - 95	Erläuterungen zur Wirkung des Biegesensors
	96	Phasendetektor
	97	Stützsignaleingang des Phasendetektors
	98	Steuereingang des Phasendetektors
10	99	Phasendetektoreingang
	100	Stützsignalerzeuger
	101	Signalbegrenzer
	102	Komparator
	103	Ausgang des Stützsignalerzeugers 100
15	104, 105	Eingänge des Steuersignalerzeugers
	106	Steuersignalerzeuger
	107	Trenntransformator
	108	Filter
	109	Komparator
20	110	gesteuerter Inverter
	111	Steuereingang des Inverters
	112	Ausgang des Inverters

Patentansprüche

1. Piezoelektrischer Antrieb, insbesondere piezoelektrischer
5 Motor zur Erzeugung kontinuierlicher oder schrittweiser
Bewegungen, umfassend
einen eine Friktionsoberfläche aufweisenden Läufer, ein mit
dieser Oberfläche in Kontakt bringbares Antriebselement in Form
eines piezoelektrischen Erregers, wobei der Erreger aus einem
10 monolithischen, plattenförmigen, im wesentlichen rechteckigen,
Elektrodenflächen aufweisenden piezoelektrischen Wandler
besteht, eine äußere Befestigung, ein auf einer der Stirnseiten
des piezoelektrischen Wandlers angeordnetes Friktionselement
sowie eine Halterung für den piezoelektrischen Wandler und
15 Mittel zum elastischen Anpressen des Friktionselements an die
Friktionsoberfläche,
dadurch gekennzeichnet, daß
zur Halterung des piezoelektrischen Wandlers sowie zum Erzeugen
der Anpreßkraft des Friktionselements jeweils am äußeren Knoten
20 der Biegeschwingungsmode ein elastischer, den Wandler umgrei-
fender Doppelrahmen mit Innen- und Außenrahmen angeordnet ist,
wobei der Innenrahmen jeweils mit den Längsschmalseiten des
Wandlers und der Außenrahmen mit der äußeren Befestigung ver-
bunden ist, weiterhin der Außenrahmen und der Innenrahmen
25 beabstandet sind und über Stege oder Brücken in Kontakt stehen.

2. Piezoelektrischer Antrieb nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, daß
der Doppelrahmen einen längs seiner Achse symmetrischen Aufbau
30 aufweist und die Stege oder Brücken mittig angeordnet Innen-
und Außenrahmen verbinden.

3. Piezoelektrischer Antrieb nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, daß
35 zwei gegenüberliegend angeordnete Stege oder Brücken vorgesehen
sind und daß zwischen den Längsbreitseiten des Wandlers und dem
Innenrahmen ein Abstandsspalt ausgebildet ist.

4. Piezoelektrischer Antrieb nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
der Doppelrahmen aus einem metallischen Material hoher Güte
5 besteht.

5. Piezoelektrischer Antrieb nach einem der vorangegangenen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß
10 die Innenrahmen jeweils am Wandler stoffschlüssig befestigt sind.

6. Friktionselement für einen piezoelektrischen Antrieb zum Übertragen von Kräften zwischen Ständer und Läufer, wobei der
15 piezoelektrische Erreger aus einem monolithischen, plattenförmigen, im wesentlichen rechteckigen, Elektrodenflächen aufweisenden piezoelektrischen Wandler besteht und das Friktionselement auf einer Stirnseite des Wandlers befestigt ist,
dadurch gekennzeichnet, daß
20 das Friktionselement eine Doppelschichtstruktur aufweist, wobei der mit dem Wandler verbundene Teil der Schichtstruktur als harter, poröser Körper und der mit dem Läufer in Kontakt stehende Teil der Schichtstruktur als abriebfester, monolithischer Körper ausgebildet ist und beide Schichten oder Körper
25 durch Sintern verbunden sind.

7. Friktionselement nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, daß
in den Poren des mit dem Wandler verbundenen Teils der
30 Schichtstruktur Füllstoffe zum Erhalt einer festen Verbindung zwischen Wandleroberfläche und Friktionselement angeordnet oder eingebracht sind.

8. Friktionselement nach Anspruch 7,
35 dadurch gekennzeichnet, daß
der Füllstoff Epoxidharz und/oder niedrigschmelzendes Glas ist.

9. Friktionselement nach einem der Ansprüche 6 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Grenzfläche der Doppelschichtstruktur im wesentlichen
parallel zur Wandlerstirnseite verläuft.

5

10. Friktionselement nach einem der Ansprüche 6 bis 9,
gekennzeichnet durch
dessen Verwendung bei einem Antrieb nach den Merkmalen
mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5.

10

11. Schaltungsanordnung zum Betreiben eines piezoelektrischen
Antriebs, insbesondere piezoelektrischen Motors, wobei der
Antrieb als piezoelektrischer Erreger aus einem monolithischen,
plattenförmigen, im wesentlichen rechteckigen, Elektrodeflächen
aufweisenden piezoelektrischen Wandler ausgeführt ist, die
Elektrodenflächen auf der Vorder- und Rückseite der Längs-
breitseiten des Wandlers befindlich sind und die Vorderseiten
der Elektroden in vier Quadranten unterteilt sowie paarweise
diagonal verschalten sind,

15

dadurch gekennzeichnet, daß
ein Grund- oder Steuergenerator unmittelbar mit einem ersten
Eingang eines zweikanaligen Brückenleistungsverstärkers und
über einen Phasenschieber mit dem zweiten Eingang des
Leistungsverstärkers verbunden ist, wobei die Ausgänge des
Brückenleistungsverstärkers über ein Filter auf die Primärseite
eines summierenden Transformators führen und die Sekundärseite
des Transformators einerseits an der Rückseitenelektrode und
andererseits über einen Umschalter wahlweise an eines der Paare
der Vorderseitenelektroden angeschlossen ist.

25

30

12. Schaltungsanordnung nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet, daß
das Filter eine in Serie geschaltete L-C-Anordnung ist.

35

13. Schaltungsanordnung nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet, daß
das Filter aus einer L-C-Anordnung auf der Primär- und/oder
Sekundärseite des Transformators besteht und ein Signalpegel-

wandler vorgesehen ist, dessen Ausgang auf den Steuereingang des Phasenschiebers führt und dessen Eingang über einen Komparator an einen Elektrodengruppenkommutator angeschlossen ist, wobei der Elektrodengruppenkommutator mit jeweils dem
5 invertierenden und dem nichtinvertierenden Komparatorausgang in Verbindung steht.

14. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß

10 auf den piezoelektrischen Wandler ein Biegesensor zur Bestimmung mechanischer Striktionen angeordnet ist, wobei die Biegesensorelektroden über eine Signalauswerteeinheit mit einem Steuereingang des Grundgenerators in Verbindung stehen.

15 15. Schaltungsanordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß

die Signalauswerteeinheit aus einem Phasendetektor mit Phasenstützeingang besteht, wobei der Steuersignalausgang des Phasendetektors zur Veränderung der Erregerfrequenz auf den
20 Grundgenerator führt, um diesen auf eine konstante, vorgegebene Phasendifferenz auch bei Temperaturschwankungen des piezoelektrischen Wandlers zu steuern.

16. Schaltungsanordnung nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß

25 der Biegesensor zur Bestimmung der Biegekomponenten der mechanischen Erregung als dünne, einschichtige piezokeramische Platte mit die gesamte Hauptoberfläche überdeckenden Elektroden ausgeführt ist und eine bezogen auf die Querachse symmetrische
30 Polarisierung besitzt, wobei der Biegesensor starr mit einer der Wandleroberflächen zwischen Mitten- und Seitenknoten der Biegemode der Schwingungen verbunden ist.

17. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 11 bis 16, gekennzeichnet durch

35 deren Verwendung zur Ansteuerung eines piezoelektrischen Antriebs nach einem der Ansprüche 1 bis 5.

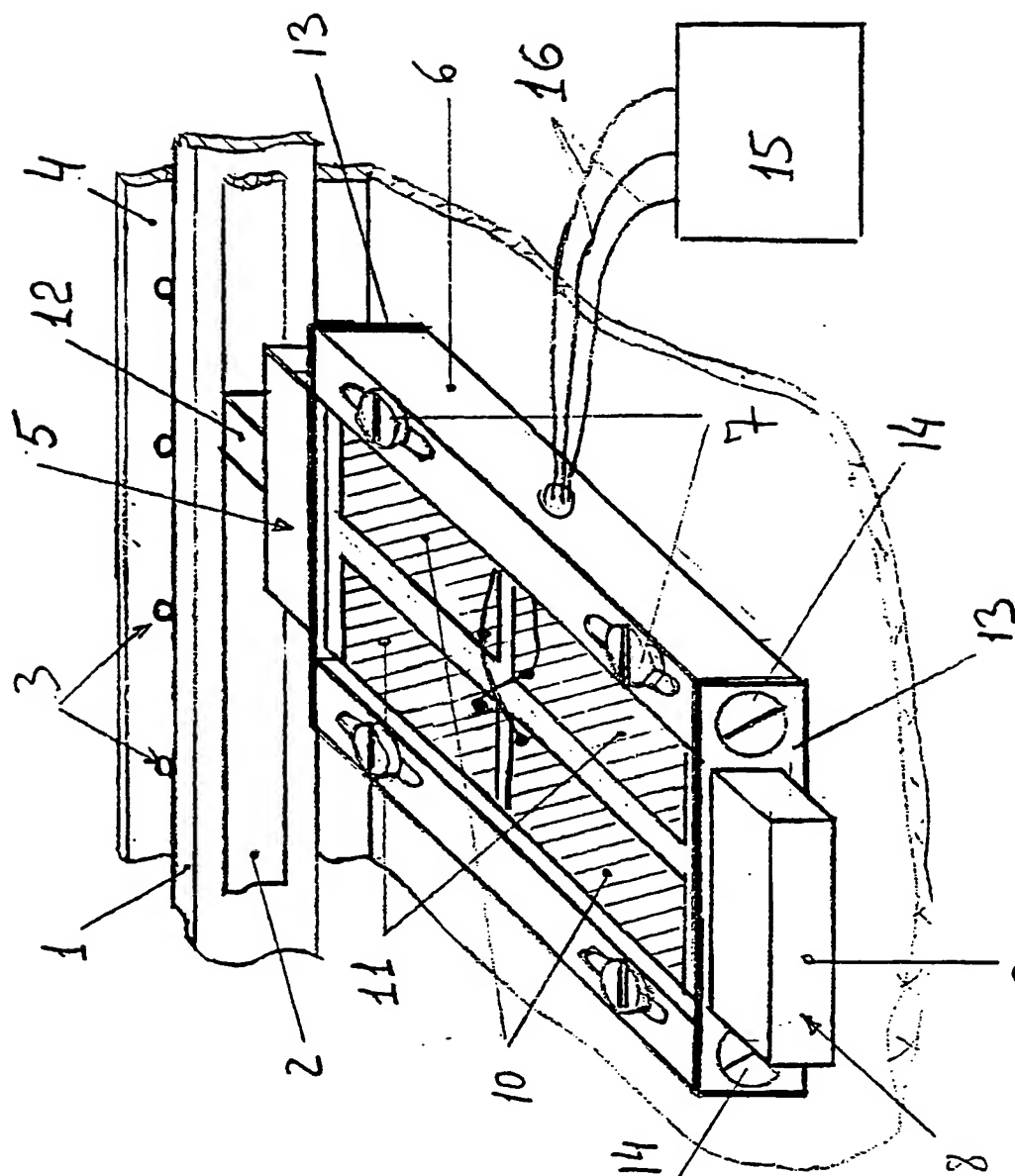
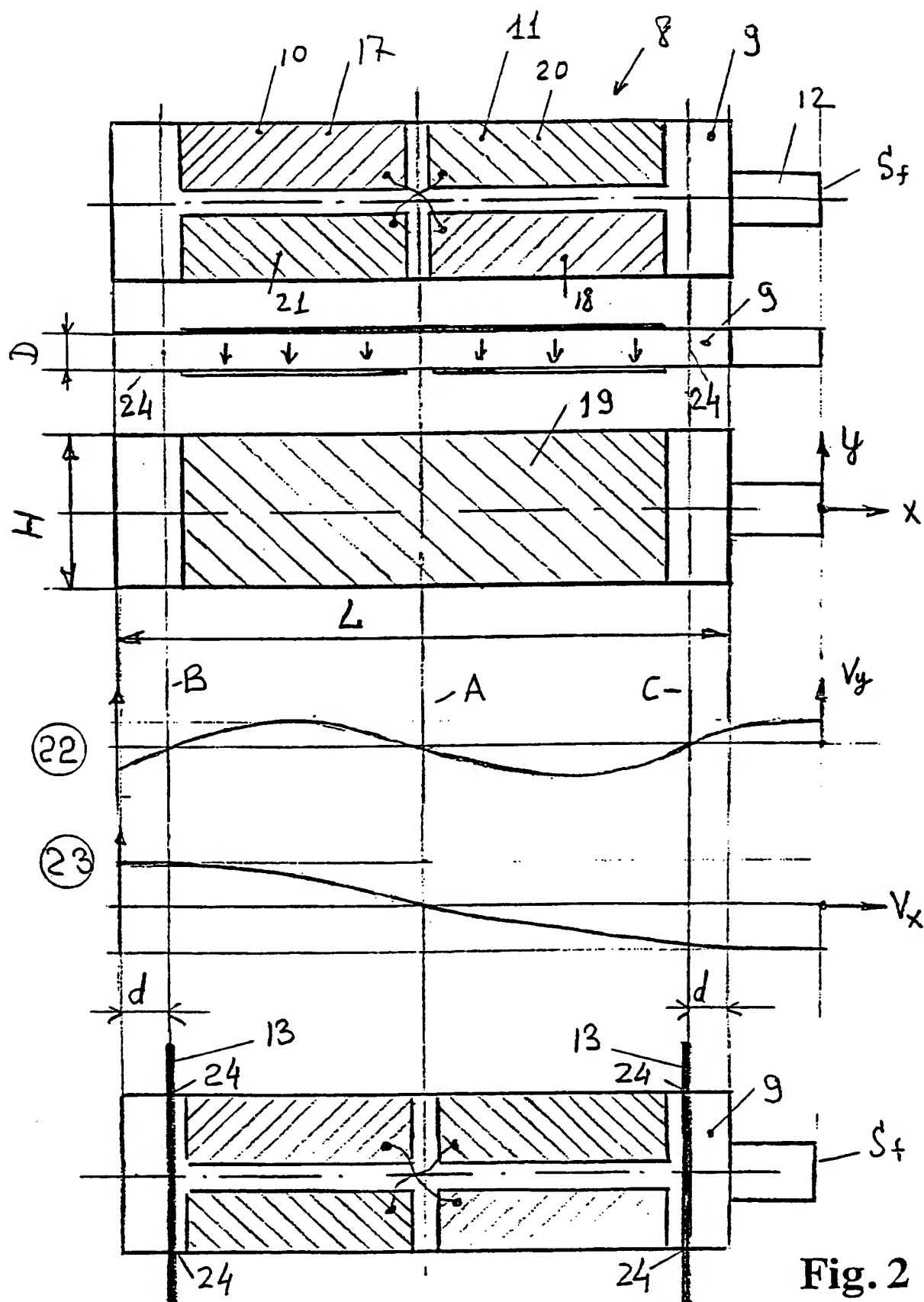


Fig. 1







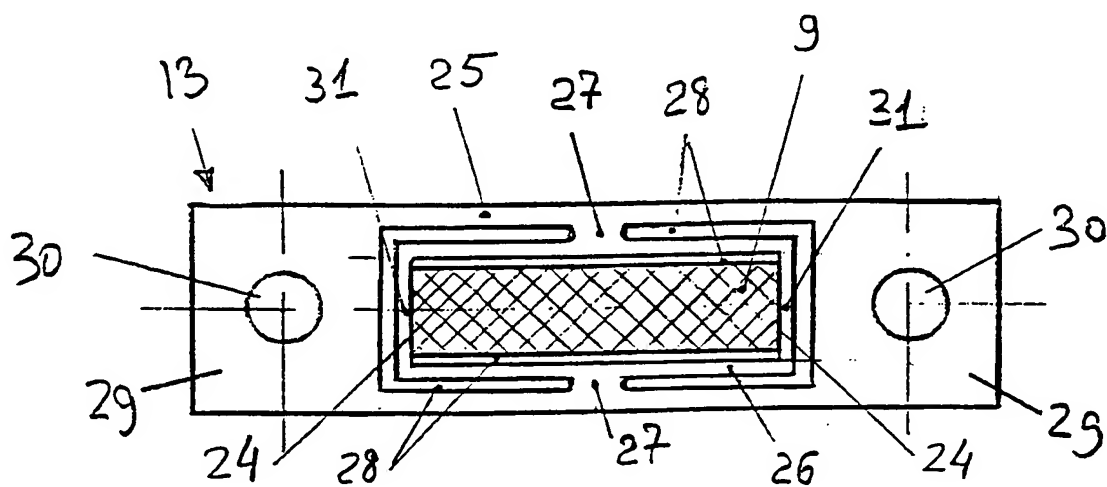


Fig. 3

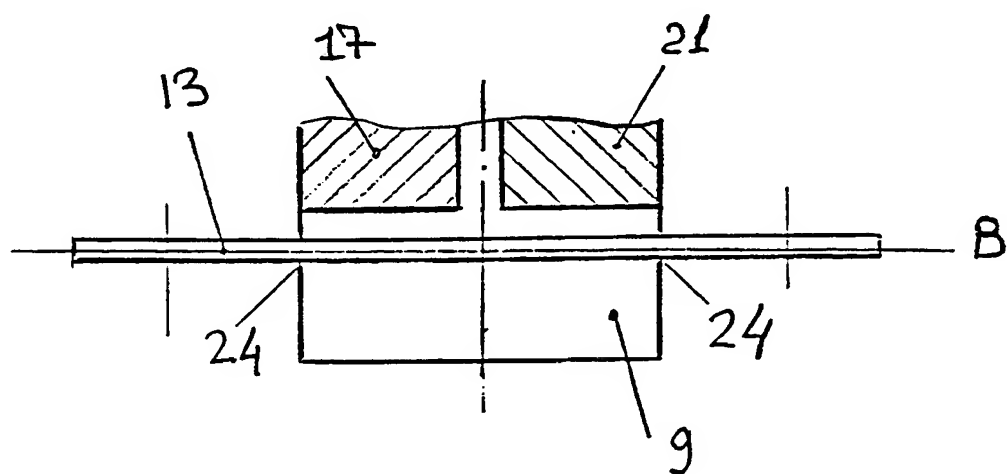
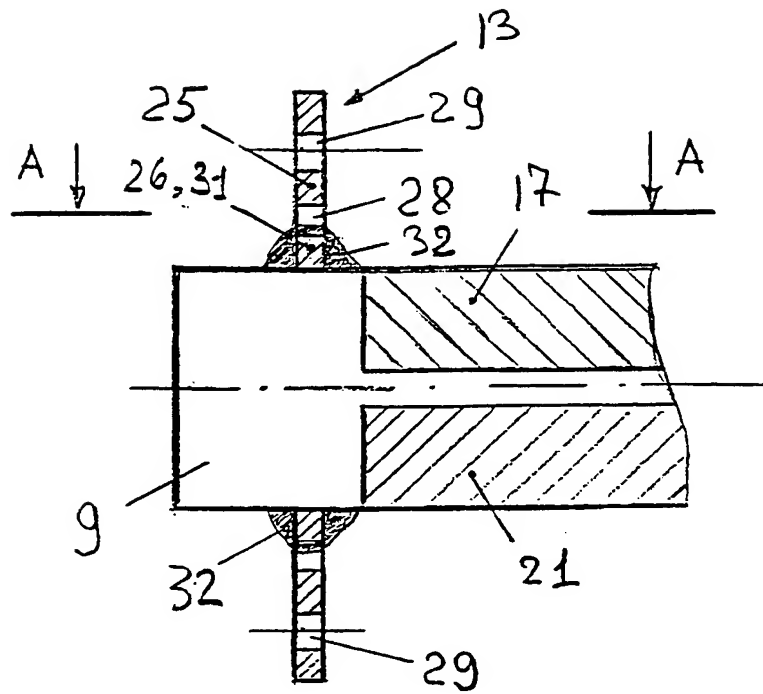
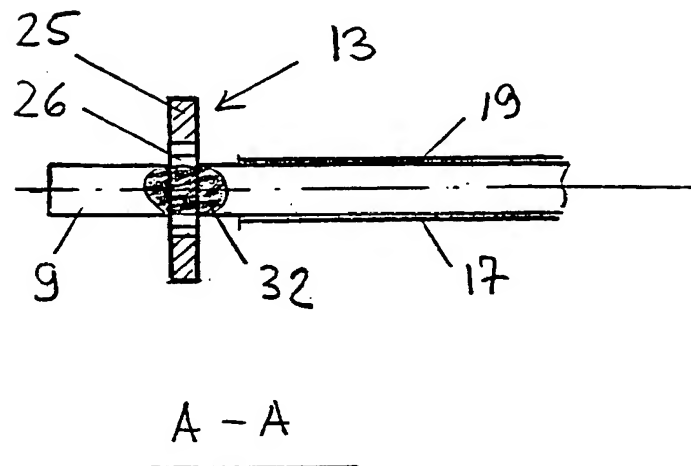
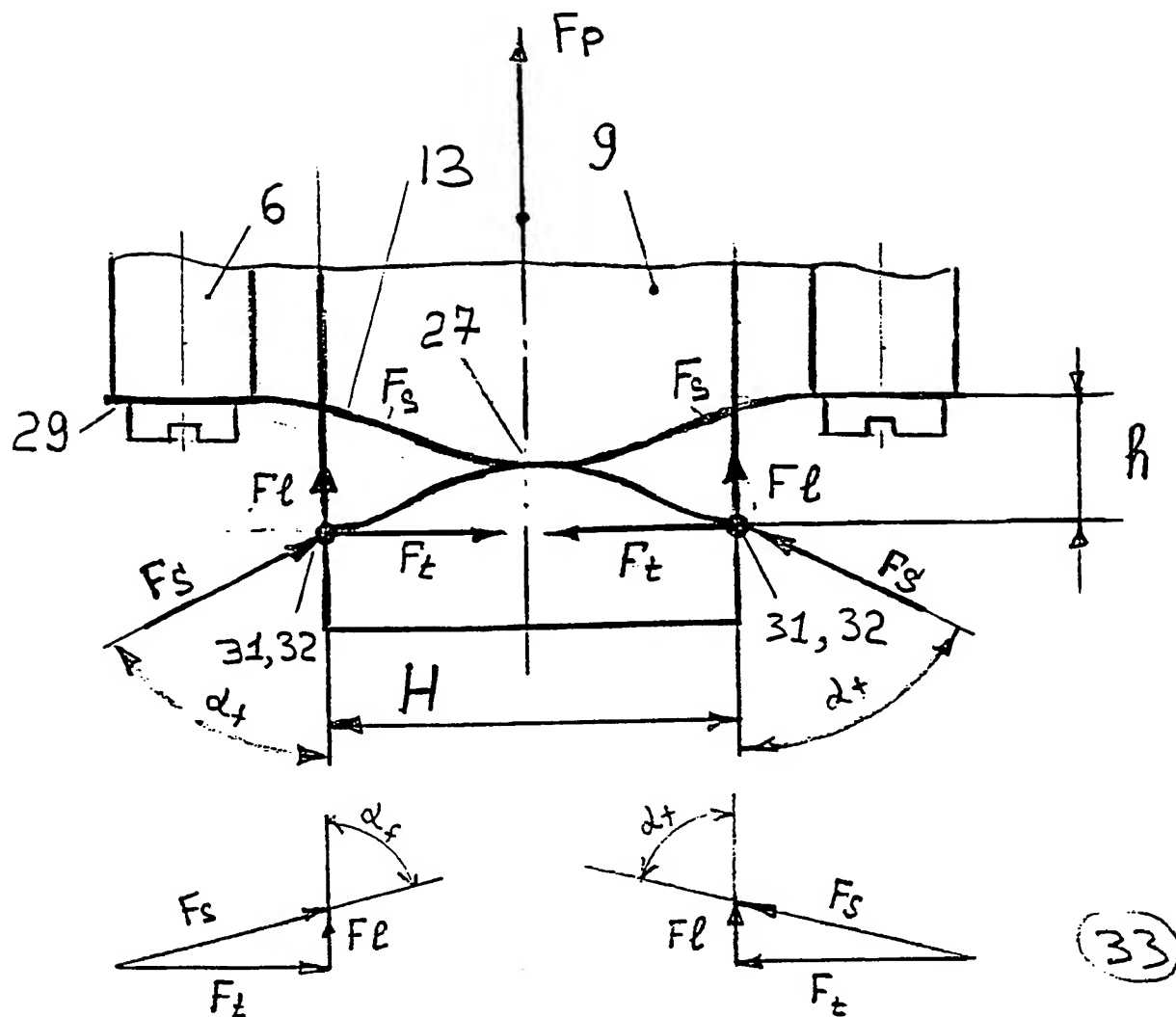


Fig. 4

**Fig. 5****Fig. 6**





33



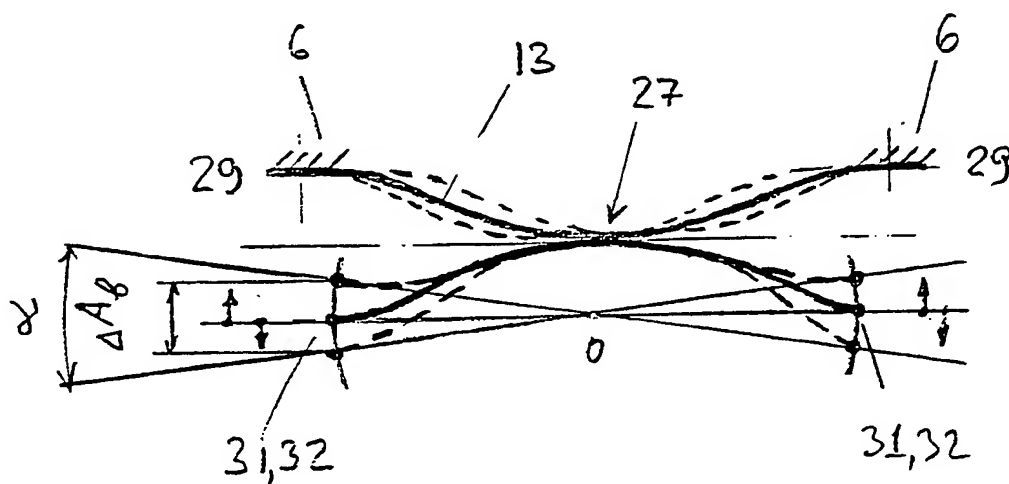


Fig. 9

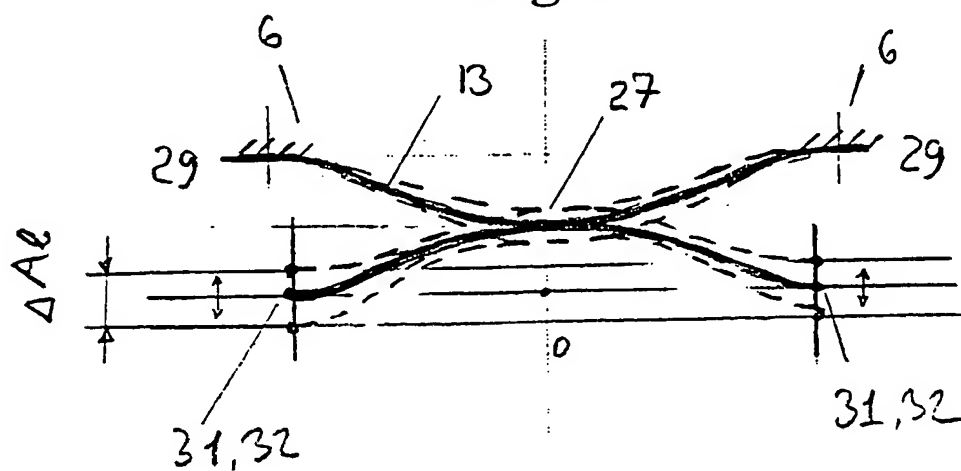


Fig. 10

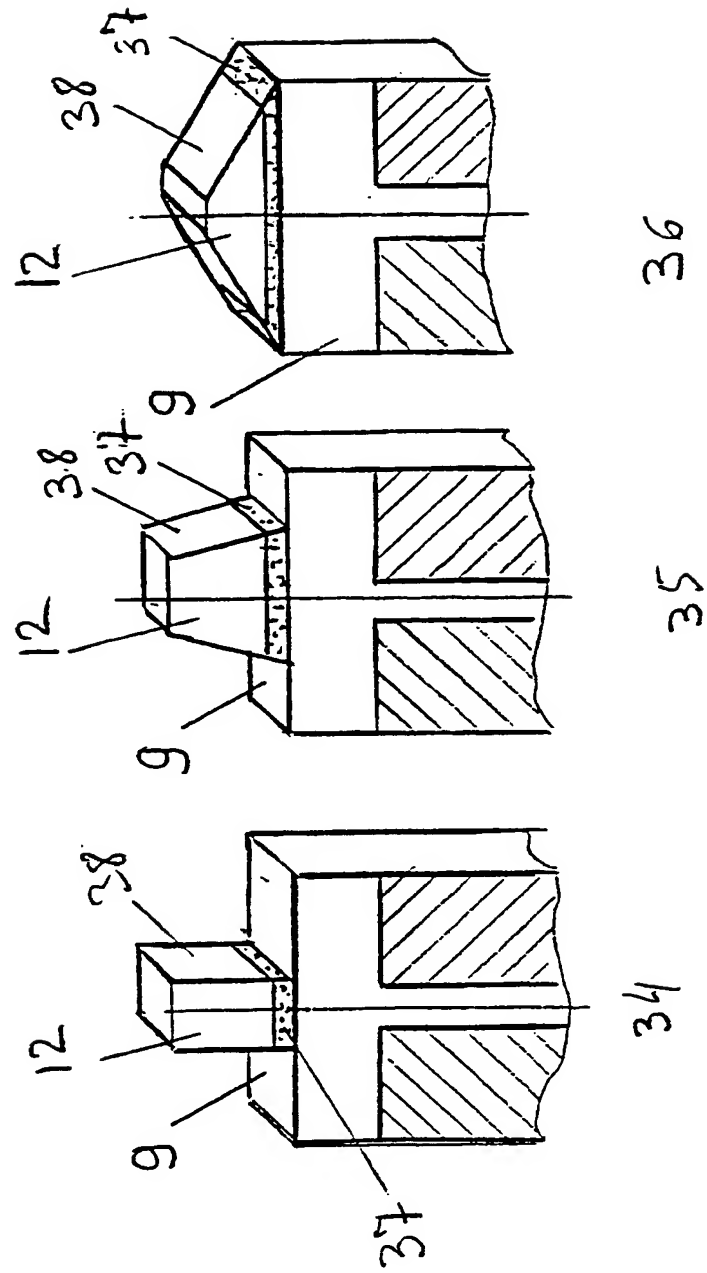


Fig. 11

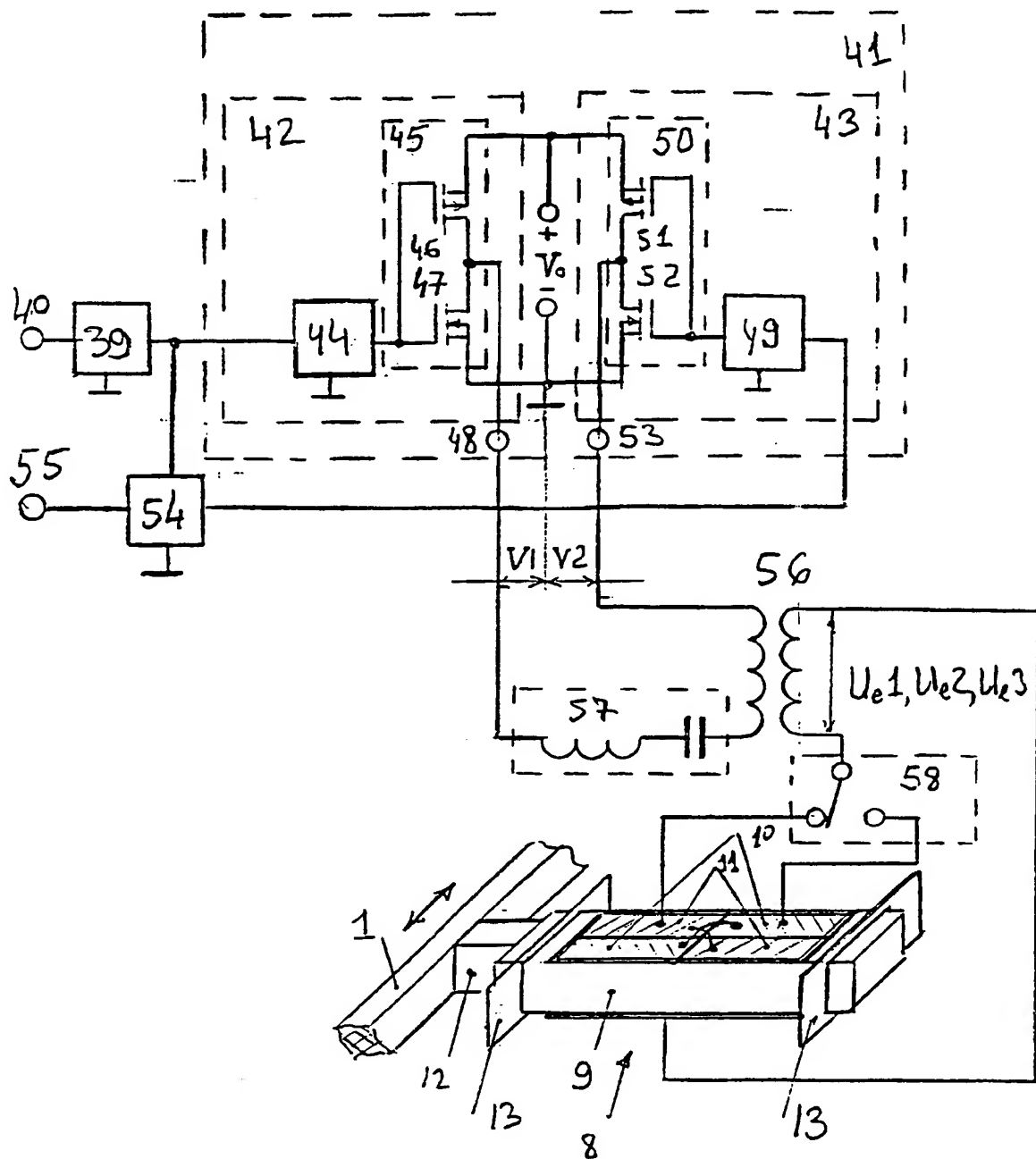


Fig. 12

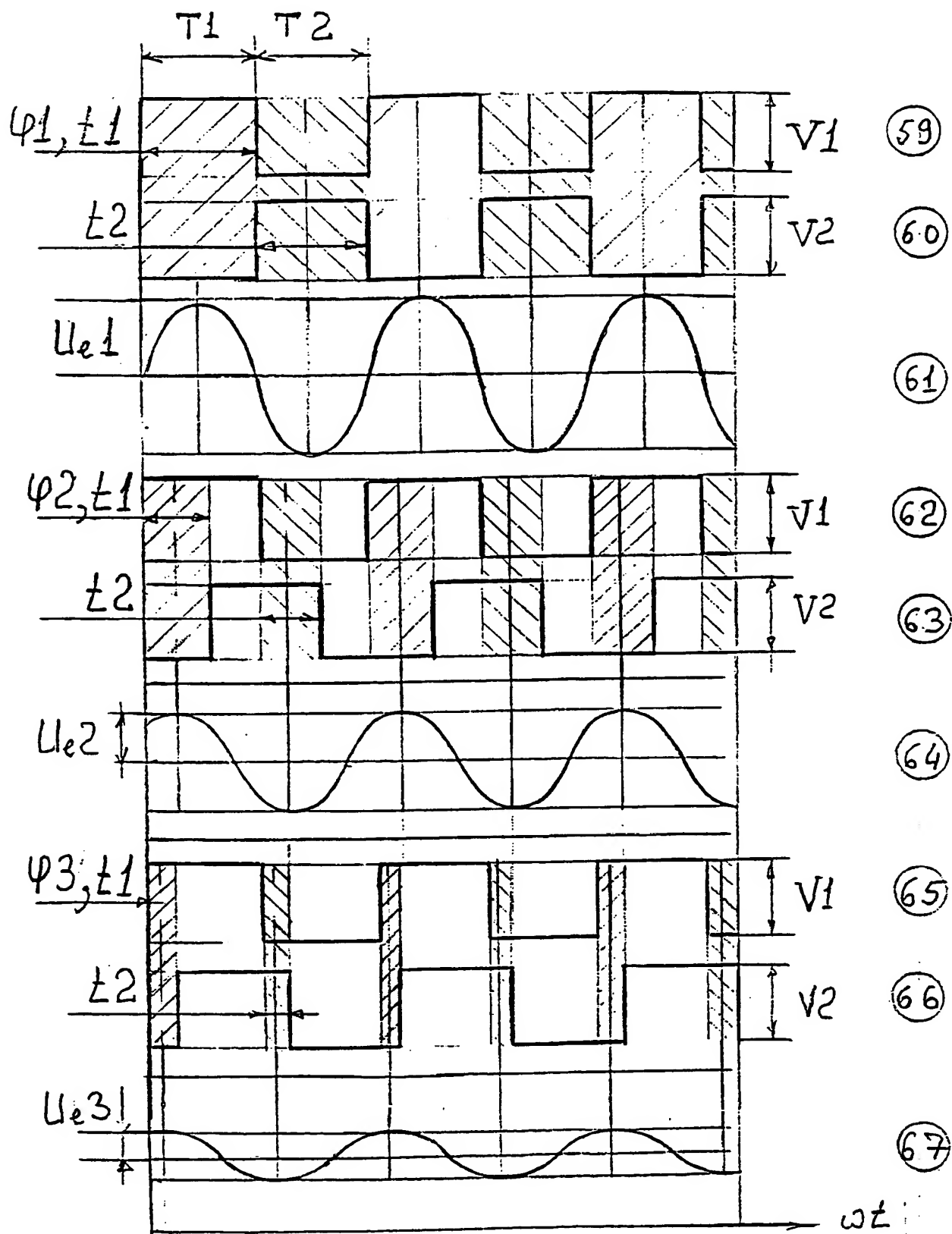
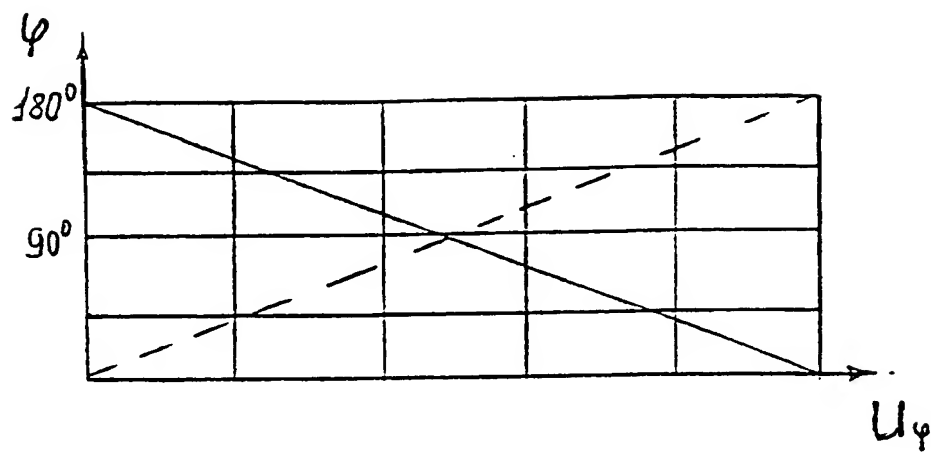
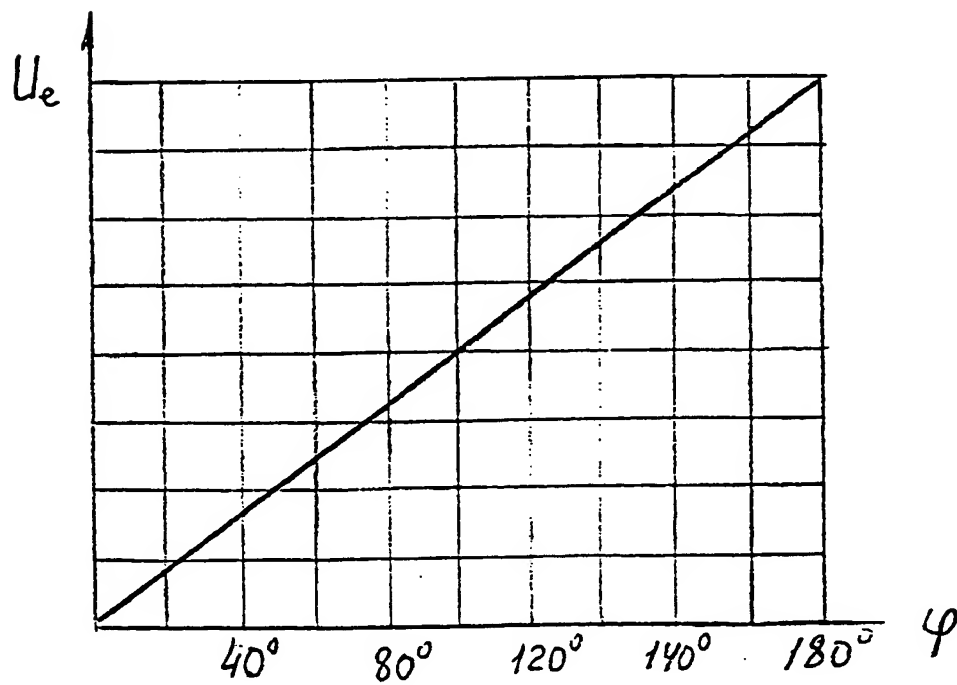


Fig. 13



(68)



(69)

Fig. 14

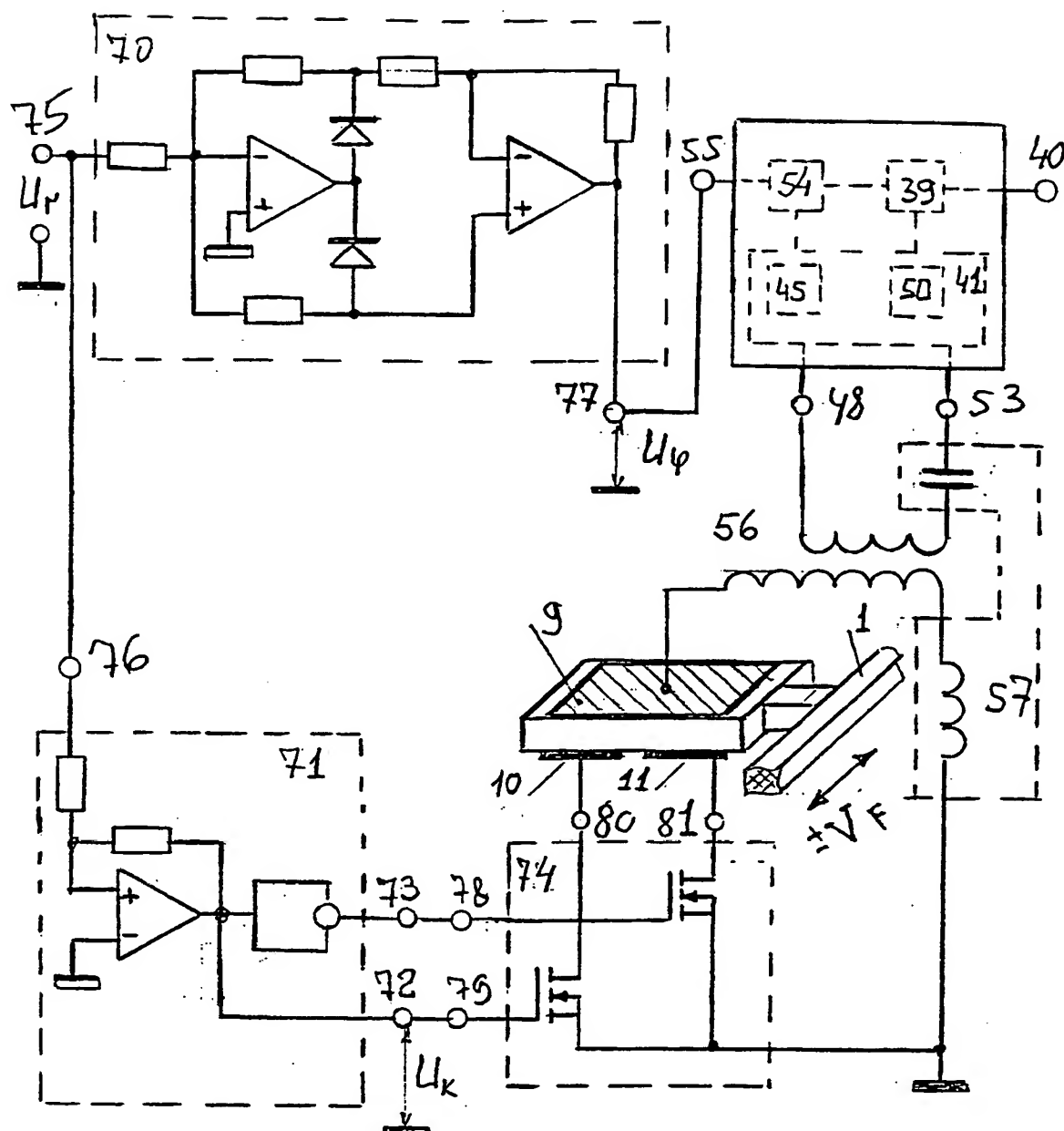


Fig. 15



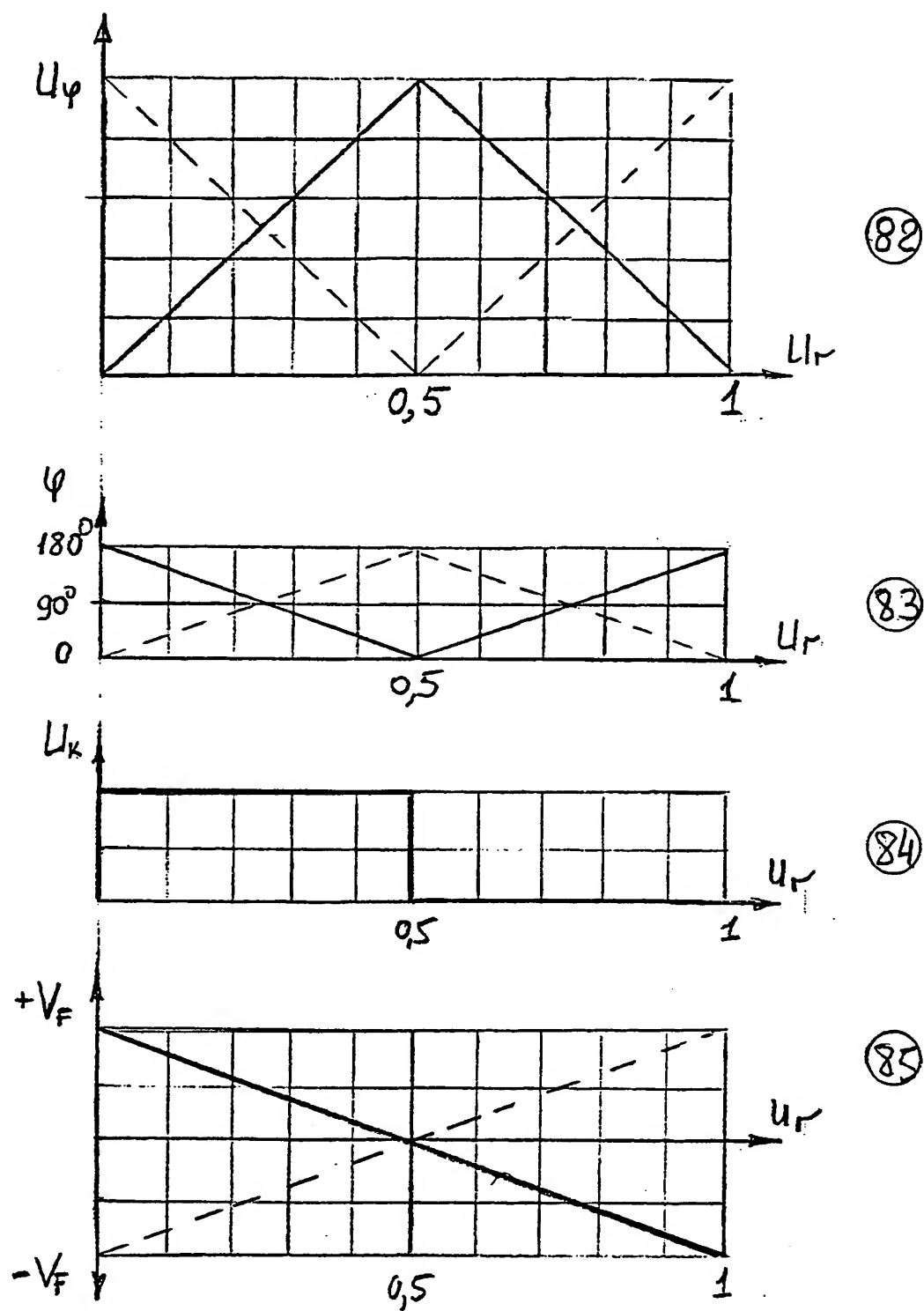


Fig. 16



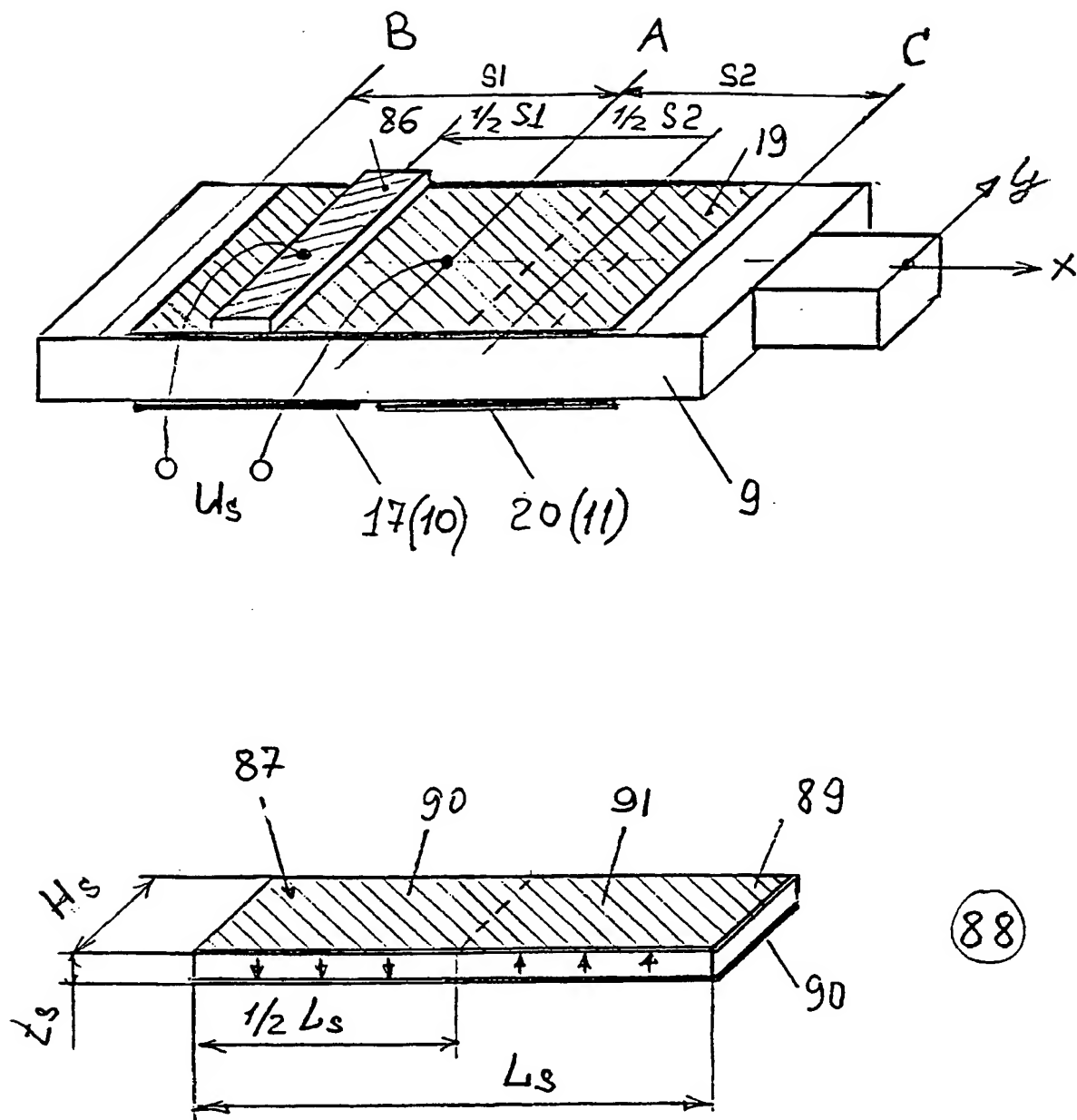


Fig. 17



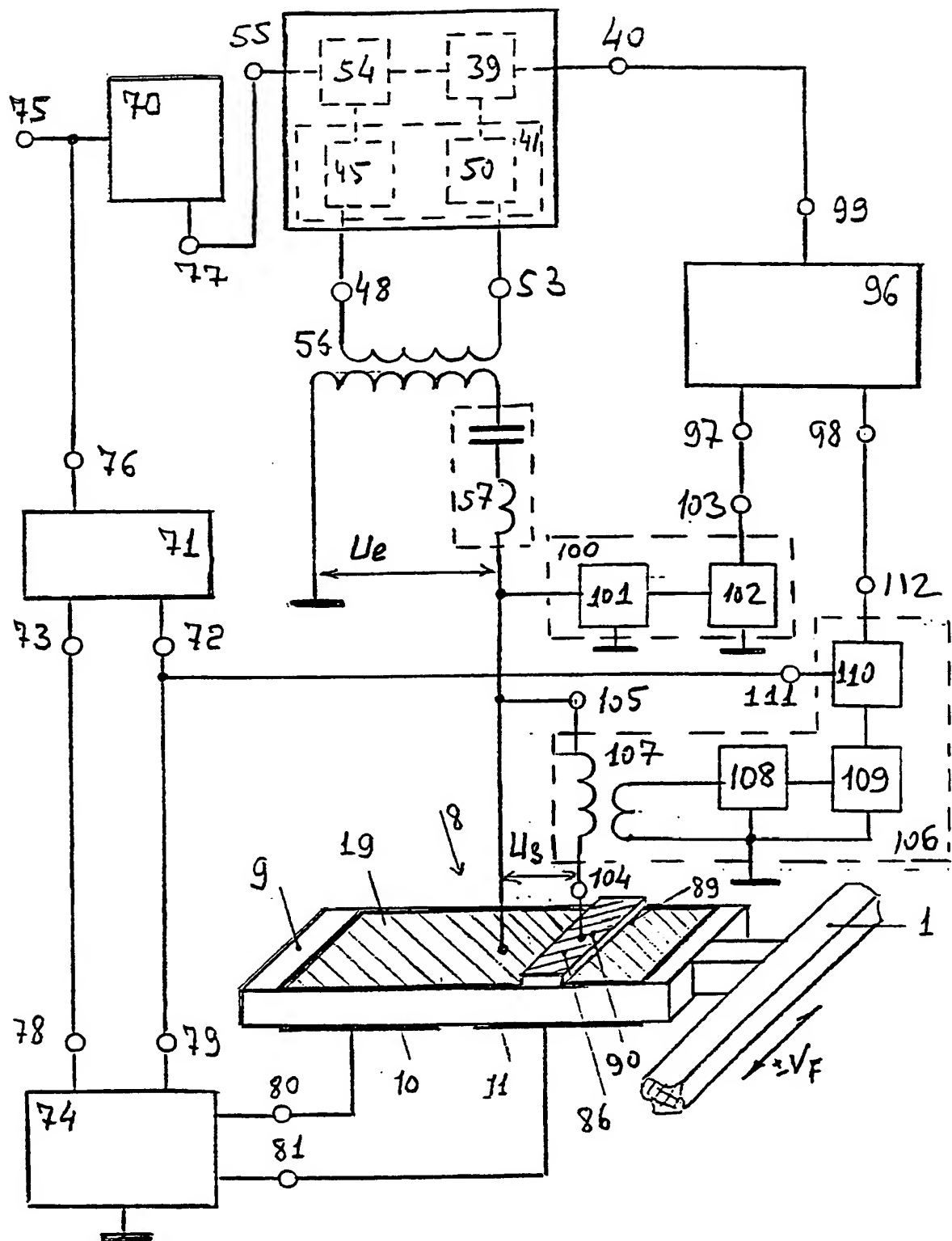
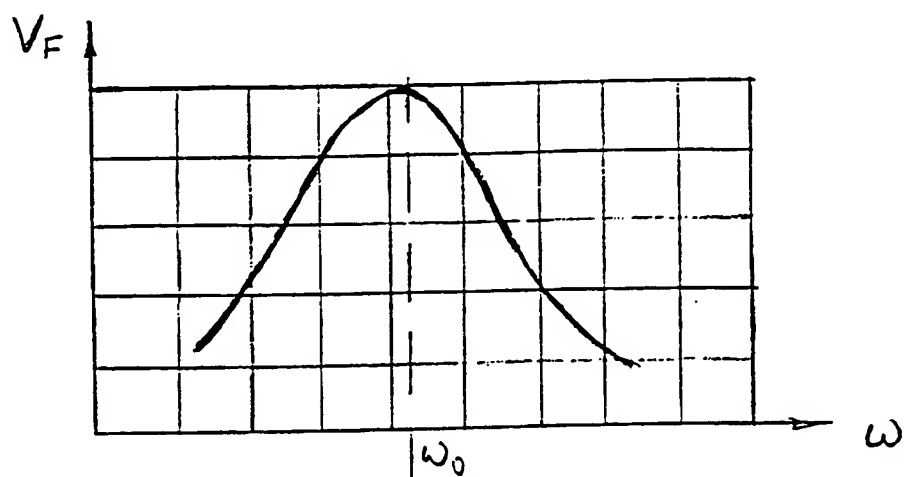
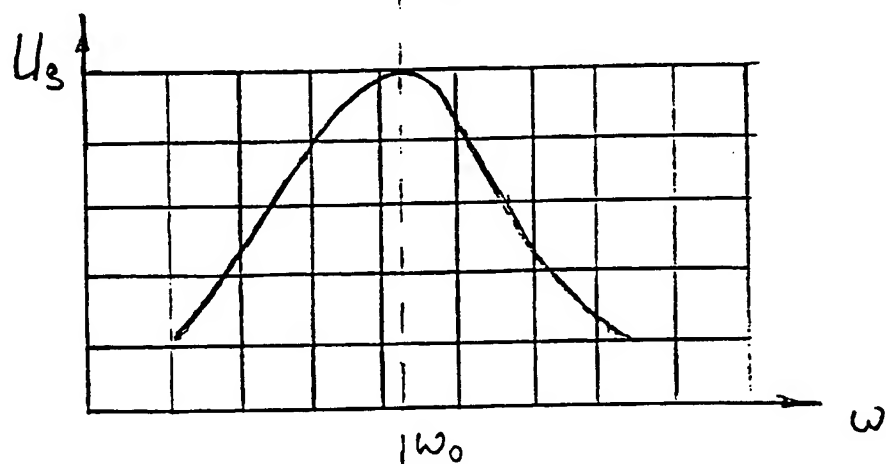


Fig. 19

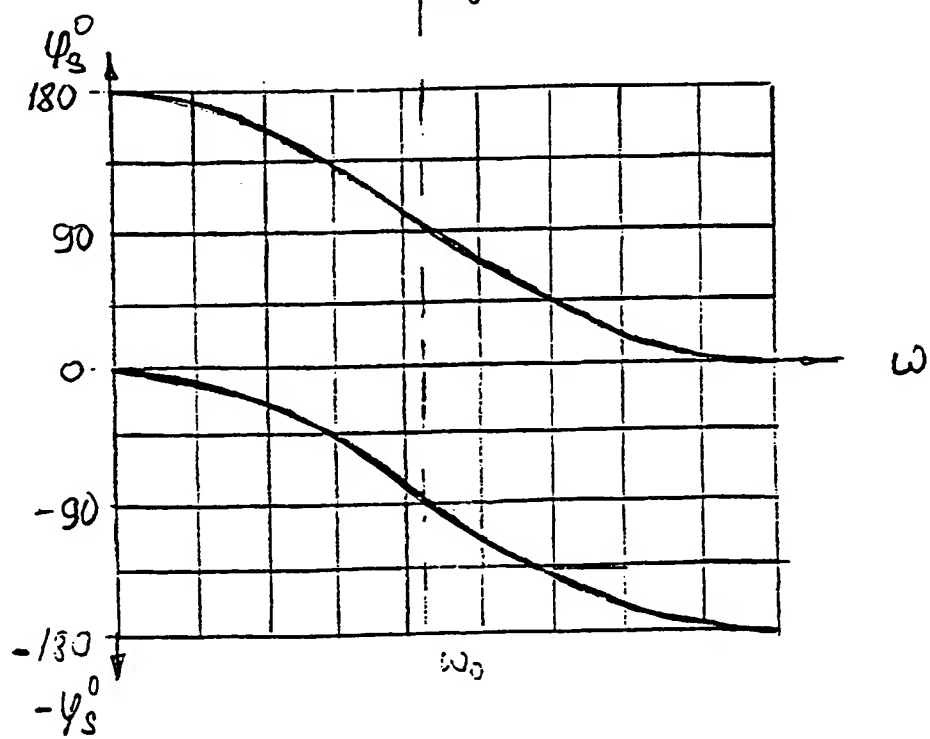




(92)



(93)



(94)

(95)

Fig. 18



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/EP 00/06133

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H02N2/04 H02N2/06 H01L41/09 H01L41/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H01L H02N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 714 833 A (ZUMERIS JONA) 3 February 1998 (1998-02-03) cited in the application column 11, line 30 -column 15, line 22 column 22, line 17 -column 24, line 14 column 29, line 10 - line 62 figures 1,5,30	1,6,10, 11,17
A	DE 196 48 726 A (PIEZOSYSTEM JENA PRAEZISIONSJUSTIERELEMENTE GMBH) 20 May 1998 (1998-05-20) cited in the application the whole document	1
A	US 5 166 572 A (OHNISHI KAZUMASA) 24 November 1992 (1992-11-24) column 1, line 6 -column 4, line 18	6-8
	-/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 November 2000

Date of mailing of the international search report

22/11/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Köpf, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 00/06133

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>BEN-YAAKOV S ET AL: "A resonant driver for a piezoelectric motor" PROCEEDINGS OF THE THIRTY-NINTH INTERNATIONAL POWER CONVERSION CONFERENCE PCIM'99, NURNBERG, GERMANY, 22 - 24 June 1999, pages 173-178, XP000964532 ZM Commun. GMBH, Germany ISBN: 3-928643-22-3 the whole document</p>	11,12,17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 00/06133

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5714833 A	03-02-1998	US 5616980 A	01-04-1997
		US 5682076 A	28-10-1997
		EP 0755054 A	22-01-1997
		JP 9037575 A	07-02-1997
		US 6064140 A	16-05-2000
		US 5777423 A	07-07-1998
		US 5877579 A	02-03-1999
		JP 2980541 B	22-11-1999
		JP 8237971 A	13-09-1996
		JP 2000040313 A	08-02-2000
DE 19648726 A	20-05-1998	NONE	
US 5166572 A	24-11-1992	JP 2766387 B	18-06-1998
		JP 4105575 A	07-04-1992

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 IPK 7 H02N2/04 H02N2/06 H01L41/09 H01L41/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 IPK 7 H01L H02N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
 EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 714 833 A (ZUMERIS JONA) 3. Februar 1998 (1998-02-03) in der Anmeldung erwähnt Spalte 11, Zeile 30 - Spalte 15, Zeile 22 Spalte 22, Zeile 17 - Spalte 24, Zeile 14 Spalte 29, Zeile 10 - Zeile 62 Abbildungen 1,5,30	1,6,10, 11,17
A	DE 196 48 726 A (PIEZOSYSTEM JENA PRAEZISIONSJUSTERELEMENTE GMBH) 20. Mai 1998 (1998-05-20) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1
A	US 5 166 572 A (OHNISHI KAZUMASA) 24. November 1992 (1992-11-24) Spalte 1, Zeile 6 - Spalte 4, Zeile 18	6-8
	-/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. November 2000

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

22/11/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Köpf, C

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>BEN-YAAKOV S ET AL: "A resonant driver for a piezoelectric motor" PROCEEDINGS OF THE THIRTY-NINTH INTERNATIONAL POWER CONVERSION CONFERENCE PCIM'99, NURNBERG, GERMANY, 22. - 24. Juni 1999, Seiten 173-178, XP000964532 ZM Commun. GMBH, Germany ISBN: 3-928643-22-3 das ganze Dokument</p>	11,12,17

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/06133

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5714833	A	03-02-1998	US	5616980 A	01-04-1997
			US	5682076 A	28-10-1997
			EP	0755054 A	22-01-1997
			JP	9037575 A	07-02-1997
			US	6064140 A	16-05-2000
			US	5777423 A	07-07-1998
			US	5877579 A	02-03-1999
			JP	2980541 B	22-11-1999
			JP	8237971 A	13-09-1996
			JP	2000040313 A	08-02-2000
DE 19648726	A	20-05-1998	KEINE		
US 5166572	A	24-11-1992	JP	2766387 B	18-06-1998
			JP	4105575 A	07-04-1992

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AM PATENTWIRTSCHAFTSRECHT

PCT

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

(Artikel 18 sowie Regeln 43 und 44 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts M/PCE-014-PC	WEITERES VORGEHEN siehe Mitteilung über die Übermittlung des internationalen Recherchenberichts (Formblatt PCT/ISA/220) sowie, soweit zutreffend, nachstehender Punkt 5	
Internationales Aktenzeichen PCT/EP 00/06133	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 30/06/2000	(Frühestes) Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) 30/06/1999
Anmelder PI CERAMIC GMBH		

Dieser internationale Recherchenbericht wurde von der Internationalen Recherchenbehörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 18 übermittelt. Eine Kopie wird dem Internationalen Büro übermittelt.

Dieser internationale Recherchenbericht umfaßt insgesamt 7 Blätter.

☒ Darüber hinaus liegt ihm jeweils eine Kopie der in diesem Bericht genannten Unterlagen zum Stand der Technik bei.

1. Grundlage des Berichts

a. Hinsichtlich der **Sprache** ist die internationale Recherche auf der Grundlage der internationalen Anmeldung in der Sprache durchgeführt worden, in der sie eingereicht wurde, sofern unter diesem Punkt nichts anderes angegeben ist.

☐ Die internationale Recherche ist auf der Grundlage einer bei der Behörde eingereichten Übersetzung der internationalen Anmeldung (Regel 23.1 b)) durchgeführt worden.

b. Hinsichtlich der in der internationalen Anmeldung offenbarten **Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz** ist die internationale Recherche auf der Grundlage des Sequenzprotokolls durchgeführt worden, das

☐ in der internationalen Anmeldung in schriftlicher Form enthalten ist.

☐ zusammen mit der internationalen Anmeldung in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.

☐ bei der Behörde nachträglich in schriftlicher Form eingereicht worden ist.

☐ bei der Behörde nachträglich in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.

☐ Die Erklärung, daß das nachträglich eingereichte schriftliche Sequenzprotokoll nicht über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung im Anmeldezeitpunkt hinausgeht, wurde vorgelegt.

☐ Die Erklärung, daß die in computerlesbarer Form erfaßten Informationen dem schriftlichen Sequenzprotokoll entsprechen, wurde vorgelegt.

2. ☐ Bestimmte Ansprüche haben sich als nicht recherchierbar erwiesen (siehe Feld I).

3. ☒ Mangels Einheitlichkeit der Erfindung (siehe Feld II).

4. Hinsichtlich der Bezeichnung der Erfindung

☐ wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.

☒ wurde der Wortlaut von der Behörde wie folgt festgesetzt:

PIEZOELEKTRISCHER ANTRIEB, INSBESONDERE HALTERAHMEN, FRIKTIONSELEMENT UND SCHALTUNGSANORDNUNG

5. Hinsichtlich der Zusammenfassung

☐ wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.

☒ wurde der Wortlaut nach Regel 38.2b) in der in Feld III angegebenen Fassung von der Behörde festgesetzt. Der Anmelder kann der Behörde innerhalb eines Monats nach dem Datum der Absendung dieses internationalen Recherchenberichts eine Stellungnahme vorlegen.

6. Folgende Abbildung der Zeichnungen ist mit der Zusammenfassung zu veröffentlichen: Abb. Nr. 1

☐ wie vom Anmelder vorgeschlagen

☒ weil der Anmelder selbst keine Abbildung vorgeschlagen hat.

☐ weil diese Abbildung die Erfindung besser kennzeichnet.

☐ keine der Abb.

Feld III

WORTLAUT DER ZUSAMMENFASSUNG (Fortsetzung von Punkt 5 auf Blatt 1)

Die Zusammenfassung ist wie folgt geändert:

Die Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Antrieb, insbesondere piezoelektrischen Motor zur Erzeugung kontinuierlicher oder Schrittwiseiger Bewegungen, ein Friktionselement(12) für einen solchen piezoelektrischen Antrieb sowie zum Übertragen von Kräften zwischen Ständer(5) und Läufer(1) sowie eine Schaltungsanordnung zum Betreiben eines piezoelektrischen Antriebs, insbesondere eines piezoelektrischen Motors.

Zur Halterung des piezoelektrischen Wandlers(9) sowie zum Erzeugen des Anpreßkraft des Friktionselements(12) ist jeweils am äußeren Knoten der Biegeschwingungsmoden ein elastischer, den Wandler umgreifender Doppelrahmen(13) mit Innen- und Außenrahmen angeordnet, wobei der Innenrahmen(26) jeweils mit den Längsschmalseiten des Wandlers und der Außenrahmen(25) mit der äußeren Befestigung verbunden ist, weiterhin der Außenrahmen und der Innenrahmen beabstandet sind und über Stege oder Brücken(27) in Kontakt stehen. Das erfindungsgemäße Friktionselement(12) ist als Doppelschichtstruktur ausgebildet mit einem ersten, mit dem Wandler verbundenen harten, porösen Körper(37) und mit einem zweiten, mit dem Läufer in Kontakt stehenden Teil(38) oder Körper aus einem abtriebsfesten, monolithischen Material, wobei beide Schichten durch Sintern verbunden sind. Die Schaltungsanordnung zum Betreiben des Antriebs greift auf einen speziellen Brückenleistungsverstärker(41) sowie auf die Möglichkeit der Kompensation des Temperaturgangs des Antriebs zu dessen stabilen Betrieb zurück.



A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 H02N2/04 H02N2/06 H01L41/09 H01L41/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H01L H02N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 714 833 A (ZUMERIS JONA) 3. Februar 1998 (1998-02-03) in der Anmeldung erwähnt Spalte 11, Zeile 30 - Spalte 15, Zeile 22 Spalte 22, Zeile 17 - Spalte 24, Zeile 14 Spalte 29, Zeile 10 - Zeile 62 Abbildungen 1,5,30 ----	1,6,10, 11,17
A	DE 196 48 726 A (PIEZOSYSTEM JENA PRAEZISIONSJUSTIERELEMENTE GMBH) 20. Mai 1998 (1998-05-20) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument ----	1
A	US 5 166 572 A (OHNISHI KAZUMASA) 24. November 1992 (1992-11-24) Spalte 1, Zeile 6 - Spalte 4, Zeile 18 ----- -/-	6-8

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen:

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst vor oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. November 2000

Abschlußdatum des internationalen Recherchenberichts

22/11/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.O. 5818 Patentlaan 2
NL 2280 HV Rijswijk
Tel.: (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Köpf, C



C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>BEN-YAAKOV S ET AL: "A resonant driver for a piezoelectric motor" PROCEEDINGS OF THE THIRTY-NINTH INTERNATIONAL POWER CONVERSION CONFERENCE PCIM'99, NURNBERG, GERMANY, 22. - 24. Juni 1999, Seiten 173-178, XP000964532 ZM Commun. GMBH, Germany ISBN: 3-928643-22-3 das ganze Dokument</p>	11,12,17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

EP 00/06133

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5714833	A	03-02-1998	US 5616980 A	01-04-1997
			US 5682076 A	28-10-1997
			EP 0755054 A	22-01-1997
			JP 9037575 A	07-02-1997
			US 6064140 A	16-05-2000
			US 5777423 A	07-07-1998
			US 5877579 A	02-03-1999
			JP 2980541 B	22-11-1999
			JP 8237971 A	13-09-1996
			JP 2000040313 A	08-02-2000

DE 19648726	A	20-05-1998	NONE	

US 5166572	A	24-11-1992	JP 2766387 B	18-06-1998
			JP 4105575 A	07-04-1992



VERTRAG ÜBER INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

PCT

REC'D 24 JUL 2001

WIPO PCT

INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

(Artikel 36 und Regel 70 PCT)

T5


Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts M/PCE-014-PC	WEITERES VORGEHEN siehe Mitteilung über die Übersendung des internationalen vorläufigen Prüfungsberichts (Formblatt PCT/IPEA/416)	
Internationales Aktenzeichen PCT/EP00/06133	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 30/06/2000	Prioritätsdatum (Tag/Monat/Tag) 30/06/1999
Internationale Patentklassifikation (IPK) oder nationale Klassifikation und IPK H02N2/04		
Anmelder PI CERAMIC GMBH et al.		

- Dieser internationale vorläufige Prüfungsbericht wurde von der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 36 übermittelt.
- Dieser BERICHT umfaßt insgesamt 9 Blätter einschließlich dieses Deckblatts.
 - ☐ Außerdem liegen dem Bericht ANLAGEN bei; dabei handelt es sich um Blätter mit Beschreibungen, Ansprüchen und/oder Zeichnungen, die geändert wurden und diesem Bericht zugrunde liegen, und/oder Blätter mit vor dieser Behörde vorgenommenen Berichtigungen (siehe Regel 70.16 und Abschnitt 607 der Verwaltungsrichtlinien zum PCT).

Diese Anlagen umfassen insgesamt Blätter.

3. Dieser Bericht enthält Angaben zu folgenden Punkten:

- I ☒ Grundlage des Berichts
- II ☐ Priorität
- III ☐ Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erfinderische Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit
- IV ☒ Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung
- V ☒ Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung
- VI ☐ Bestimmte angeführte Unterlagen
- VII ☐ Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung
- VIII ☐ Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung

Datum der Einreichung des Antrags 24/01/2001	Datum der Fertigstellung dieses Berichts 20.07.2001
Name und Postanschrift der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde:  Europäisches Patentamt D-80298 München Tel. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d Fax: +49 89 2399 - 4465	Bevollmächtigter Bediensteter Drysdale, N Tel. Nr. +49 89 2399 2435



I. Grundlage des Berichts

1. Hinsichtlich der **Bestandteile** der internationalen Anmeldung (*Ersatzblätter, die dem Anmeldeamt auf eine Aufforderung nach Artikel 14 hin vorgelegt wurden, gelten im Rahmen dieses Berichts als "ursprünglich eingereicht" und sind ihm nicht beigelegt, weil sie keine Änderungen enthalten (Regeln 70.16 und 70.17)*):
Beschreibung, Seiten:

1-36 ursprüngliche Fassung

Patentansprüche, Nr.:

1-17 ursprüngliche Fassung

Zeichnungen, Blätter:

1/16-16/16 ursprüngliche Fassung

2. Hinsichtlich der **Sprache**: Alle vorstehend genannten Bestandteile standen der Behörde in der Sprache, in der die internationale Anmeldung eingereicht worden ist, zur Verfügung oder wurden in dieser eingereicht, sofern unter diesem Punkt nichts anderes angegeben ist.

Die Bestandteile standen der Behörde in der Sprache: zur Verfügung bzw. wurden in dieser Sprache eingereicht; dabei handelt es sich um

- ☐ die Sprache der Übersetzung, die für die Zwecke der internationalen Recherche eingereicht worden ist (nach Regel 23.1(b)).
- ☐ die Veröffentlichungssprache der internationalen Anmeldung (nach Regel 48.3(b)).
- ☐ die Sprache der Übersetzung, die für die Zwecke der internationalen vorläufigen Prüfung eingereicht worden ist (nach Regel 55.2 und/oder 55.3).

3. Hinsichtlich der in der internationalen Anmeldung offenbarten **Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz** ist die internationale vorläufige Prüfung auf der Grundlage des Sequenzprotokolls durchgeführt worden, das:

- ☐ in der internationalen Anmeldung in schriftlicher Form enthalten ist.
- ☐ zusammen mit der internationalen Anmeldung in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.
- ☐ bei der Behörde nachträglich in schriftlicher Form eingereicht worden ist.
- ☐ bei der Behörde nachträglich in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.
- ☐ Die Erklärung, daß das nachträglich eingereichte schriftliche Sequenzprotokoll nicht über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung im Anmeldezeitpunkt hinausgeht, wurde vorgelegt.
- ☐ Die Erklärung, daß die in computerlesbarer Form erfassten Informationen dem schriftlichen Sequenzprotokoll entsprechen, wurde vorgelegt.

4. Aufgrund der Änderungen sind folgende Unterlagen fortgefallen:



- ☐ Beschreibung, Seiten:
☐ Ansprüche, Nr.:
☐ Zeichnungen, Blatt:

5. ☐ Dieser Bericht ist ohne Berücksichtigung (von einigen) der Änderungen erstellt worden, da diese aus den angegebenen Gründen nach Auffassung der Behörde über den Offenbarungsgehalt in der ursprünglich eingereichten Fassung hinausgehen (Regel 70.2(c)).

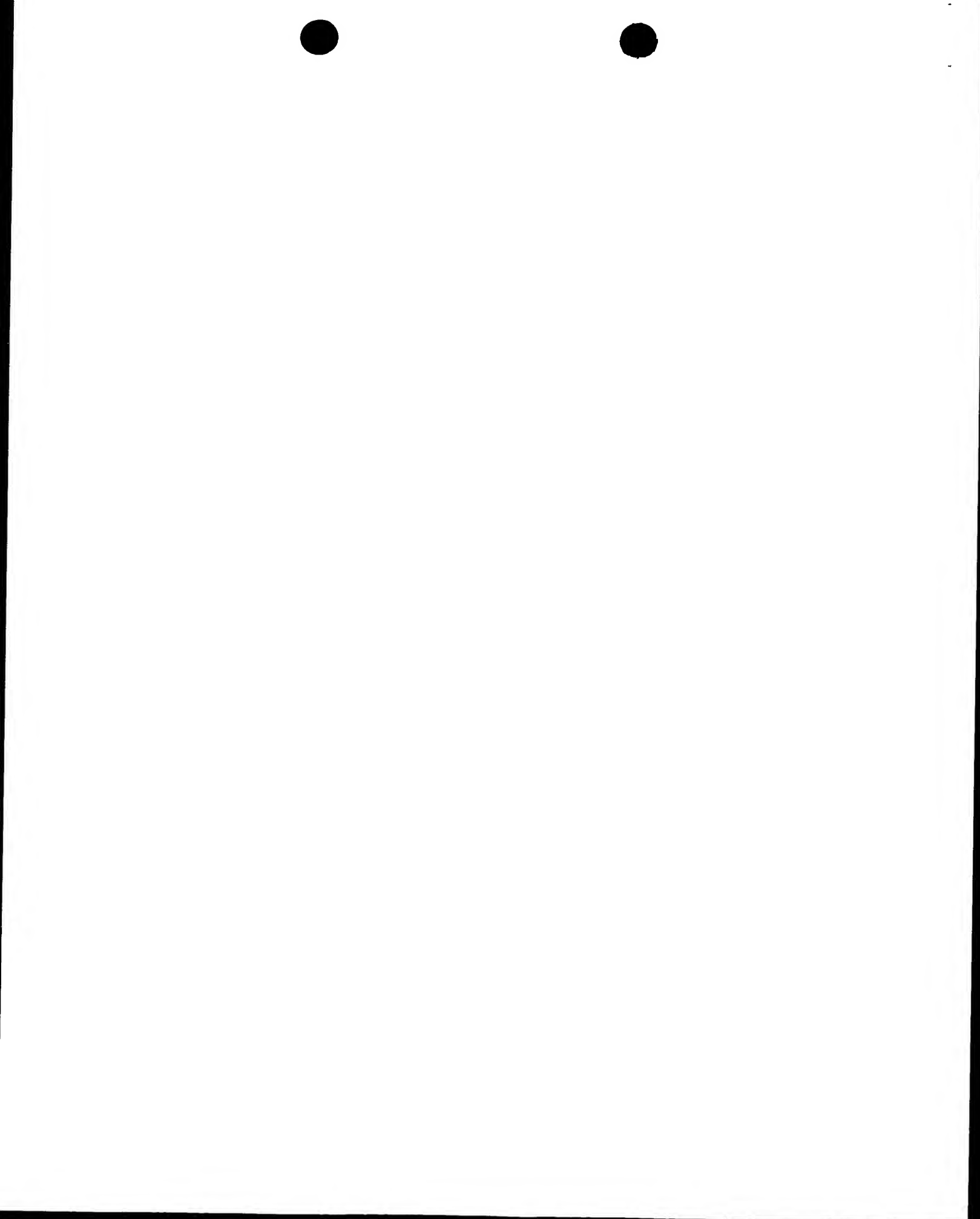
(Auf Ersatzblätter, die solche Änderungen enthalten, ist unter Punkt 1 hinzuweisen; sie sind diesem Bericht beizufügen).

6. Etwaige zusätzliche Bemerkungen:

IV. Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung

1. Auf die Aufforderung zur Einschränkung der Ansprüche oder zur Zahlung zusätzlicher Gebühren hat der Anmelder:
- ☐ die Ansprüche eingeschränkt.
 - ☐ zusätzliche Gebühren entrichtet.
 - ☐ zusätzliche Gebühren unter Widerspruch entrichtet.
 - ☐ weder die Ansprüche eingeschränkt noch zusätzliche Gebühren entrichtet.
2. ☐ Die Behörde hat festgestellt, daß das Erfordernis der Einheitlichkeit der Erfindung nicht erfüllt ist, und hat gemäß Regel 68.1 beschlossen, den Anmelder nicht zur Einschränkung der Ansprüche oder zur Zahlung zusätzlicher Gebühren aufzufordern.
3. Die Behörde ist der Auffassung, daß das Erfordernis der Einheitlichkeit der Erfindung nach den Regeln 13.1, 13.2 und 13.3
- ☐ erfüllt ist
 - ☒ aus folgenden Gründen nicht erfüllt ist:
siehe Beiblatt
4. Daher wurde zur Erstellung dieses Berichts eine internationale vorläufige Prüfung für folgende Teile der internationalen Anmeldung durchgeführt:
- ☒ alle Teile.
 - ☐ die Teile, die sich auf die Ansprüche Nr. beziehen.

V. Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung



INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/EP00/06133

1. Feststellung

Neuheit (N)	Ja: Ansprüche	1-17
	Nein: Ansprüche	
Erfinderische Tätigkeit (ET)	Ja: Ansprüche	1-17
	Nein: Ansprüche	
Gewerbliche Anwendbarkeit (GA)	Ja: Ansprüche	1-17
	Nein: Ansprüche	

2. Unterlagen und Erklärungen siehe Beiblatt



IV. Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung

1. Der Prüfer teilt die Auffassung der internationalen Recherchenbehörde, daß diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche 1-5: Verbesserte Halterung für ein Piezoelement

Die Patentschrift US 5 714 333 A (D1) offenbart als Stand der Technik einen piezoelektrischen Antrieb mit einem rechteckigen plattenförmigen Erreger als Antriebselement, einem Friktionselement, Mittel zum elastischen Anpressen des Friktionselements an die zu bewegende Oberfläche z.B. in Form einer Feder sowie eine Halterung des Erregers an Schwingungsknotenpunkten der Querauslenkung durch separate starre und elastische Träger, die aber eine gleitende Längsbewegung des Piezoelements erlauben. Weiterhin wird auch eine Querführung in Gestalt einer elastischen Rahmenkonstruktion beschrieben.

Aus dem Vergleich von D1 mit der vorliegenden Patentanmeldung ergeben sich die neuen Merkmale der ersten Erfindung (Ansprüche 1-5), die als "besondere technische Merkmale" der ersten Erfindung gemäß Regel 13(2) PCT angesehen werden, nämlich die Verwendung von Doppelrahmen nach der Spezifikation von Anspruch 1 sowie der Unteransprüche 2-5 zum gleichzeitigen Erzeugen der Anpresskraft des Friktionselements und zur Querhalterung des Piezoelements ohne Reibung an dieser.

Die zugrundeliegende Aufgabe, die durch diese Merkmale gelöst wird, kann daher formuliert werden als das Verhindern einer unerwünschten Erwärmung des Piezoantriebs und die Vereinfachung der mechanischen Konstruktion.

2. Ansprüche 6-10 : Verbessertes Friktionselement

Das Dokument D1 offenbart ein Friktionselement aus hartem keramischen Material wie z.B. Aluminiumoxyd, das an der Stirnseite des monolithischen plattenförmigen Piezoelements mit einem Bindemittel befestigt ist.

Aus dem Vergleich von D1 mit der vorliegenden Patentanmeldung ergeben sich



die neuen Merkmale der zweiten Erfindung (Ansprüche 6-10), die als "besondere technische Merkmale" der zweiten Erfindung gemäß Regel 13(2) PCT angesehen werden, nämlich die Verwendung eines Friktionselements mit Doppelschichtstruktur nach Anspruch 6 sowie den Unteransprüchen 7-10, insbesondere eines harten porösen Verbindungskörpers und eines abriebfesten Gleitkörpers, die mittels Sintern verbunden sind.

Die zugrundeliegende Aufgabe, die durch diese Merkmale gelöst wird, kann daher formuliert werden als die Verbesserung der Befestigung des Friktionselements am Piezoelement.

3. Ansprüche 11-17: Verbesserte Ansteuerschaltung

Das Dokument D1 offenbart eine Schaltungsanordnung für den piezoelektrischen Erreger bestehend aus einem Mikrokontroller und von diesem gesteuerte Schalt-/Modulatorkreise zur Ansteuerung der vier Quadranten-Elektroden mit Wechsel- und/oder gepulsten Spannungen sowie eine mit der Rückseiten-Elektrode verbundene Abstimmungsspule.

Aus dem Vergleich von D1 mit der vorliegenden Patentanmeldung ergeben sich die neuen Merkmale der dritten Erfindung (Ansprüche 11-17), die als "besondere technische Merkmale" der dritten Erfindung gemäß Regel 13(2) PCT angesehen werden, nämlich die Schaltungsanordnung nach Anspruch 11 sowie der Unteransprüche 12-17 bestehend aus Generator, Brückenleistungsverstärker, Filter und Transformator.

Die zugrundeliegende Aufgabe, die durch diese Merkmale gelöst wird, kann daher formuliert werden als die Ermöglichung einer Ansteuerung des Piezoelements mit niedriger elektrischer Spannung.

V. Begründete Feststellung

2. Unterlagen und Erklärungen

1. Es wird auf die folgenden, im internationalen Recherchenbericht zitierten Dokumente verwiesen:



- D1 = US 5 714 833 A (ZUMERIS JONA) 3. Februar 1998 (in der Anmeldung erwähnt)
- D2 = DE 196 48 726 A (PIEZOSYSTEM JENA PRAEZISIONSJUSTIERELEMEN-TE GMBH) 20. Mai 1998 (in der Anmeldung erwähnt)
- D3 = US 5 166 572 A (OHNISHI KAZUMASA) 24. November 1992
- D4 = BEN-YAAKOV S ET AL: 'A resonant driver for a piezoelectric motor' PROCEEDINGS OF THE THIRTY-NINTH INTERNATIONAL POWER CONVERSION CONFERENCE PCIM'99, NÜRNBERG, GERMANY, 22. - 24. Juni 1999, Seiten 173-178, XP000964532 ZM Commun. GMBH, Germany ISBN: 3-928643-22-3

2. Das Dokument D1 stellt den nächstliegenden, verfügbaren Stand der Technik dar und beschreibt einen piezoelektrischen Antrieb bzw. ein Friktionselement und eine Schaltungsanordnung dafür gemäß dem Oberbegriff der unabhängigen Ansprüche 1, 6 und 11. Im Antrieb gemäß D1 ist das Antriebselement (10) in einer, eine gleitende Längsbewegung des Elements erlaubende Halterung montiert, die zwei Trägerpaare (32, 36) (34, 38) mit je einem starren und einem elastischen Träger aufweist, wobei jedes Trägerpaar an einem äußeren Knoten der Biegeschwingungsmoden angeordnet ist. Ein zusätzliches elastisches Bauteil (44) erzeugt die Anpreßkraft des Friktionselements (26) gegen den Läufer (30) (siehe die Figuren 1A, 1B; Spalte 11, Zeile 30 - Spalte 12, Zeile 32).
3. Der Gegenstand des vorliegenden Anspruchs 1 unterscheidet sich von diesem bekannten Antrieb im wesentlichen dadurch, daß jedes Trägerpaar durch einen Doppelrahmen mit Innen- und Außenrahmen ersetzt ist, wobei der Innenrahmen jeweils mit den Längsschmalseiten des Wandlers und der Außenrahmen mit der äußeren Befestigung verbunden ist, weiterhin der Außenrahmen und der Innenrahmen beabstandet sind und über Stege oder Brücken in Kontakt stehen, und daß diese Halterung auch zum Erzeugen der Anpreßkraft des Friktionselements dient.
4. Die zugrundeliegende Aufgabe, die durch diese Merkmale gelöst wird, kann als das Verhindern einer unerwünschten Erwärmung des Piezoantriebs und die Vereinfachung der mechanischen Konstruktion bei Gewährleistung der Langzeitstabilität formuliert werden.

5. Zwar ist aus D2 eine Halterung für ein piezoelektrisches Antriebselement bekannt, bei der sowohl die Halterung als auch die Erzeugung der Anpreßkraft durch Biegefedergelenke gewährleistet sind. Die Lösung gemäß Anspruch 1 ist jedoch aus dem vorliegenden Stand der Technik weder bekannt, noch wird sie durch ihn nahegelegt.

Somit erfüllt der Gegenstand des Anspruchs 1 die Erfordernisse des Artikels 33(2) & (3) PCT.

6. Das aus D1 bekannte Friktionselement (26) ist aus einem harten keramischen Material, vorzugsweise Aluminiumoxyd, hergestellt (Spalte 11, Zeilen 47-49; Spalte 13, Zeilen 14-15). Das Friktionselement gemäß Anspruch 6 unterscheidet sich vom bekannten durch eine Doppelschichtstruktur, wobei der mit dem Wandler verbundene Teil der Schichtstruktur als harter, poröser Körper und der mit dem Läufer in Kontakt stehende Teil der Schichtstruktur als abriebfester, monolithischer Körper ausgebildet ist, und beide Körper durch Sintern verbunden sind.
7. Die zugrundeliegende Aufgabe, die durch diese Merkmale gelöst wird, kann als die Verbesserung der Befestigung des Friktionselements am Piezoelement formuliert werden. Obwohl ein Friktionselement (3) in Form eines Sinterkörpers aus D3 bekannt ist (siehe Spalte 1, Zeile 66 bis Spalte 2, Zeile 12), ist eine Doppelschichtstruktur gemäß Anspruch 6 aus dem vorliegenden Stand der Technik weder bekannt, noch wird sie durch ihn nahegelegt.

Der Gegenstand des Anspruchs 6 erfüllt deshalb auch die Erfordernisse des Artikels 33(2) & (3) PCT.

8. Die Schaltungsanordnung gemäß D1 umfaßt einen Mikrokontroller (52) und von diesem gesteuerte Schalt-/Modulatorkreise (58, 60, 62, 64) zur Ansteuerung der vier Quadranten-Elektroden (14, 16, 18, 20) mit Wechsel- und/oder gepulsten Spannungen sowie eine mit der Rückseiten-Elektrode verbundene Abstimmungsspule (66) (siehe Fig. 5 und Spalte 14, Zeile 39 - Spalte 15, Zeile 22). Die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 11 definierte Schaltungsanordnung besteht im wesentlichen aus Generator (39), Brückenleistungsverstärker (41), Filter (57) und Transformator (56) und löst die Aufgabe, eine Ansteuerung des Piezoele-

ments mit niedriger elektrischer Spannung zu ermöglichen. Eine solche Schaltungsanordnung ist aus dem vorliegenden Stand der Technik weder bekannt, noch wird sie durch ihn nahegelegt (siehe insbesondere D4).

Der Gegenstand des Anspruchs 11 erfüllt deshalb auch die Erfordernisse des Artikels 33(2) & (3) PCT.

9. Die abhängigen Ansprüche 2 bis 5, 7 bis 9 und 12 bis 16 beziehen sich auf Ausführungsformen der in den Ansprüchen 1, 6 und 11 definierten Erfindungen. Ihr Gegenstand ist deshalb ebenfalls als neu und erfinderisch anzusehen (Art. 33(2) & (3) PCT).
10. Die Ansprüche 10 und 17 sind unabhängige Ansprüche, die sich auf die Verwendung eines Friktionselements gemäß den Ansprüchen 6 bis 9 bzw. einer Schaltungsanordnung gemäß den Ansprüchen 11 bis 16 bei einem Antrieb gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 beziehen. Ihr Gegenstand ist somit auch neu und erfinderisch (Art. 33(2) & (3) PCT).
11. Gewerbliche Anwendbarkeit (Art. 33(4) PCT) ist offensichtlich für alle Ansprüche gegeben.

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

NOTIFICATION OF ELECTION

(PCT Rule 61.2)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

Commissioner
 US Department of Commerce
 United States Patent and Trademark
 Office, PCT
 2011 South Clark Place Room
 CP2/5C24
 Arlington, VA 22202
 ETATS-UNIS D'AMERIQUE

in its capacity as elected Office

Date of mailing (day/month/year) 12 March 2001 (12.03.01)	
International application No. PCT/EP00/06133	Applicant's or agent's file reference M/PCE-014-PC
International filing date (day/month/year) 30 June 2000 (30.06.00)	Priority date (day/month/year) 30 June 1999 (30.06.99)
Applicant WISCHNEWSKIY, Wladimir	

1. The designated Office is hereby notified of its election made:

☒ in the demand filed with the International Preliminary Examining Authority on:

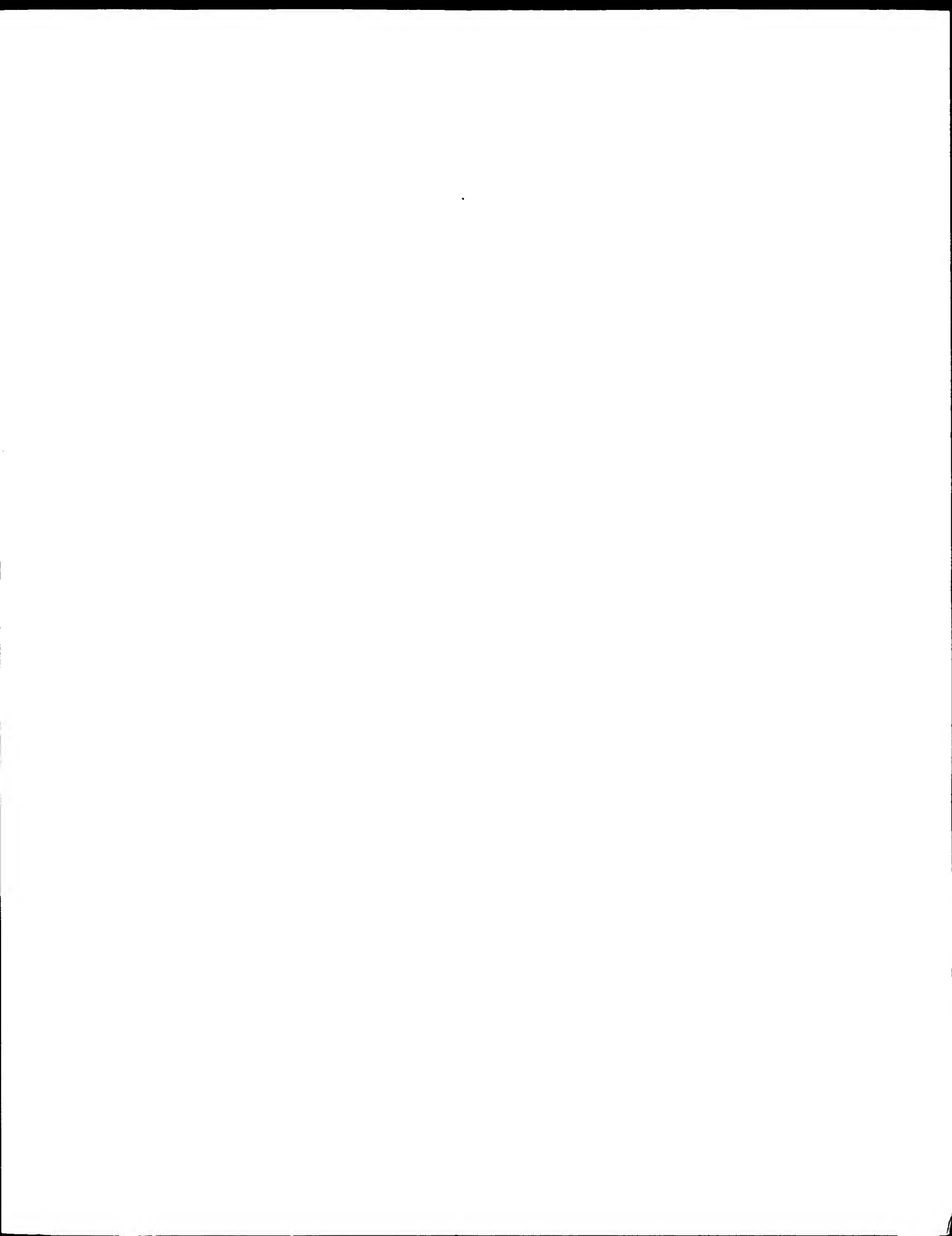
24 January 2001 (24.01.01)

☐ in a notice effecting later election filed with the International Bureau on:

2. The election ☒ was
☐ was not

made before the expiration of 19 months from the priority date or, where Rule 32 applies, within the time limit under Rule 32.2(b).

<p>The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland</p> <p>Facsimile No.: (41-22) 740.14.35</p>	<p>Authorized officer Claudio Borton</p> <p>Telephone No.: (41-22) 338.83.38</p>
--	---



INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

3

Applicant's or agent's file reference M/PCE-014-PC	FOR FURTHER ACTION See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No. PCT/EP00/06133	International filing date (day/month/year) 30 June 2000 (30.06.00)	Priority date (day/month/year) 30 June 1999 (30.06.99)
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC H02N 2/04		
Applicant PI CERAMIC GMBH		

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.
2. This REPORT consists of a total of <u>9</u> sheets, including this cover sheet. <input type="checkbox"/> This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT). These annexes consist of a total of _____ sheets.
3. This report contains indications relating to the following items: I <input checked="" type="checkbox"/> Basis of the report II <input type="checkbox"/> Priority III <input type="checkbox"/> Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability IV <input checked="" type="checkbox"/> Lack of unity of invention V <input checked="" type="checkbox"/> Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement VI <input type="checkbox"/> Certain documents cited VII <input type="checkbox"/> Certain defects in the international application VIII <input type="checkbox"/> Certain observations on the international application

Date of submission of the demand 24 January 2001 (24.01.01)	Date of completion of this report 20 July 2001 (20.07.2001)
Name and mailing address of the IPEA/EP Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.



I. Basis of the report**1. With regard to the elements of the international application:***

- ☐ the international application as originally filed
- ☒ the description:
pages _____ 1-36 _____, as originally filed
pages _____, filed with the demand
pages _____, filed with the letter of _____
- ☒ the claims:
pages _____ 1-17 _____, as originally filed
pages _____, as amended (together with any statement under Article 19
pages _____, filed with the demand
pages _____, filed with the letter of _____
- ☒ the drawings:
pages _____ 1/16-16/16 _____, as originally filed
pages _____, filed with the demand
pages _____, filed with the letter of _____
- ☐ the sequence listing part of the description:
pages _____, as originally filed
pages _____, filed with the demand
pages _____, filed with the letter of _____

2. With regard to the language, all the elements marked above were available or furnished to this Authority in the language in which the international application was filed, unless otherwise indicated under this item.

These elements were available or furnished to this Authority in the following language _____ which is:

- ☐ the language of a translation furnished for the purposes of international search (under Rule 23.1(b)).
- ☐ the language of publication of the international application (under Rule 48.3(b)).
- ☐ the language of the translation furnished for the purposes of international preliminary examination (under Rule 55.2 and/or 55.3).

3. With regard to any nucleotide and/or amino acid sequence disclosed in the international application, the international preliminary examination was carried out on the basis of the sequence listing:

- ☐ contained in the international application in written form.
- ☐ filed together with the international application in computer readable form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in written form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in computer readable form.
- ☐ The statement that the subsequently furnished written sequence listing does not go beyond the disclosure in the international application as filed has been furnished.
- ☐ The statement that the information recorded in computer readable form is identical to the written sequence listing has been furnished.

4. ☐ The amendments have resulted in the cancellation of:

- ☐ the description, pages _____
- ☐ the claims, Nos. _____
- ☐ the drawings, sheets/fig _____

5. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).**

* Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to this report since they do not contain amendments (Rule 70.16 and 70.17).

** Any replacement sheet containing such amendments must be referred to under item 1 and annexed to this report.



IV. Lack of unity of invention

1. In response to the invitation to restrict or pay additional fees the applicant has:

- ☐ restricted the claims.
- ☐ paid additional fees.
- ☐ paid additional fees under protest.
- ☐ neither restricted nor paid additional fees.

2. ☐ This Authority found that the requirement of unity of invention is not complied with and chose, according to Rule 68.1, not to invite the applicant to restrict or pay additional fees.

3. This Authority considers that the requirement of unity of invention in accordance with Rules 13.1, 13.2 and 13.3 is

- ☐ complied with.
- ☒ not complied with for the following reasons:

See supplemental sheet.

4. Consequently, the following parts of the international application were the subject of international preliminary examination in establishing this report:

- ☒ all parts.
- ☐ the parts relating to claims Nos. _____

Supplemental Box

(To be used when the space in any of the preceding boxes is not sufficient)

Continuation of: Box IV.3.

Lack of unity of invention

The examiner shares the opinion of the International Searching Authority that the present international application contains several (groups of) inventions, namely:

1. Claims 1-5: improved holder for a piezo element

Document US-A-5 714 833 (D1) discloses as prior art a piezoelectric drive having a rectangular, plate-like exciter as drive element, a friction element, means for elastically pressing the friction element against the surface to be moved, for example in the form of a spring, and a holder for holding the exciter at oscillation nodes of the transverse displacement by means of separate, rigid and flexible supports, which nevertheless permit the piezo element to slide longitudinally. D1 also describes transverse guiding in the form of a flexible frame structure.

A comparison of D1 with the present application shows the new features of the first invention (Claims 1-5), which can be regarded as "special technical features" of the first invention under PCT Rule 13.2, namely the use of double frames according to the specification in Claim 1 and dependent Claims 2-5 for simultaneously generating the pressing force of the friction element and for transversely holding the piezo element without



Supplemental Box

(To be used when the space in any of the preceding boxes is not sufficient)

Continuation of: BOX IV.3.

causing friction on said element.

The problem solved by the above features can therefore be formulated as the prevention of unwanted heating of the piezo drive and simplification of the mechanical structure.

2. Claims 6-10: improved friction element

Document D1 discloses a friction element made of hard ceramic material, for example aluminium oxide, which is secured to the end face of the monolithic, plate-like piezo element using a bonding agent.

A comparison of D1 with the present application shows the new features of the second invention (Claims 6-10), which can be regarded as "special technical features" of the second invention under PCT Rule 13.2, namely the use of a friction element with a double-layer structure according to Claim 6 and dependent Claims 7-10, in particular a hard, porous linking element and a non-abrasive sliding element, which are joined by means of sintering.

The problem solved by the above features can therefore be formulated as that of improving the securing of the friction element to the piezo element.



Supplemental Box

(To be used when the space in any of the preceding boxes is not sufficient)

Continuation of: Box IV.3.

3. Claims 11-17: improved control circuit

Document D1 discloses a circuit arrangement for the piezoelectric exciter comprising a microcontroller and switching/modulating circuits controlled thereby for controlling the four quadrant electrodes using alternating and/or pulsed voltages, as well as a tuning coil connected to the rear electrodes.

A comparison of D1 with the present application shows the new features of the third invention (Claims 11-17), which can be regarded as "special technical features" of the third invention under PCT Rule 13.2, namely the circuit arrangement according to Claim 11 and dependent Claims 12-17, comprising a generator, a bridge power amplifier, a filter and a transformer.

The problem solved by the above features can therefore be formulated as that of permitting the piezo element to be controlled using a low voltage.

V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

1. Statement

Novelty (N)	Claims	1-17	YES
	Claims		NO
Inventive step (IS)	Claims	1-17	YES
	Claims		NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1-17	YES
	Claims		NO

2. Citations and explanations

1. Reference is made to the following documents cited in the international search report:

D1: US-A-5 714 833 (ZUMERIS JONA) 3 February 1998
(cited in the application)

D2: DE-A-196 48 726 (PIEZOSYSTEM JENA
PRAEZISIONSJUSTERELEMENTE GMBH) 20 May 1998
(cited in the application)

D3: US-A-5 166 572 (OHNISHI KAZUMASA) 24 November
1992

D4: BEN-YAAKOV S ET AL: 'A resonant driver for a
piezoelectric motor' PROCEEDINGS OF THE THIRTY-
NINTH INTERNATIONAL POWER CONVERSION CONFERENCE
PCIM'99, NUREMBERG, GERMANY, 22-24 June 1999,
pages 173-178, XP000964532 ZM Commun. GMBH,
Germany ISBN: 3-928643-22-3.

2. Document D1 is the closest available prior art and describes a piezoelectric drive and a friction element and circuit arrangement therefor, as per the preamble to independent Claims 1, 6 and 11. In the drive as per D1, the drive element (10) is mounted in a holder that permits the element to slide longitudinally, said holder having two pairs of



supports (32, 36; 34, 38), each comprising a rigid and a flexible support, each pair of supports being arranged on an outer node of the flexural vibration mode. An additional flexible component (44) generates the pressing force of the friction element (26) against the armature (30) (see Figures 1A and 1B; column 11, line 30 to column 12, line 32).

3. The subject matter of the present Claim 1 differs from this known drive essentially in that each pair of supports is replaced by a double frame with inner and outer frames, the inner frame being connected to each narrow longitudinal edge of the transformer and the outer frame being connected to the outer fastening, the outer and inner frames being spaced apart and being contacted via webs or bridges, and in that this holder is also used to generate the pressing force of the friction element.
4. The problem solved by the above features can be formulated as the prevention of unwanted heating of the piezo drive and simplification of the mechanical structure, whilst guaranteeing long-term stability.
5. D2 discloses a holder for a piezoelectric drive element, both the holder and the generation of the pressing force being guaranteed by flexural spring links. However, the solution as per Claim 1 is neither disclosed nor suggested by the available prior art.

The subject matter of Claim 1 therefore meets the requirements of PCT Article 33(2) and (3).

6. The friction element (26) known from D1 is made of a

hard ceramic material, for example aluminium oxide (column 11, lines 47-49; column 13, lines 14-15). The friction element as per Claim 6 differs therefrom in that it has a double-layer structure, the section of the layer structure connected to the transformer being a hard, porous element and the section of the layer structure connected to the armature being a non-abrasive, monolithic element, both elements being joined by means of sintering.

7. The problem solved by the above features can be formulated as that of improving the securing of the friction element to the piezo element. Although a friction element (3) in the form of a sintered body is known from D3 (see column 1, line 66 to column 2, line 12), a double-layer structure as per Claim 6 is neither disclosed nor suggested by the available prior art.

The subject matter of Claim 6 therefore also meets the requirements of PCT Article 33(2) and (3).

8. The circuit arrangement as per D1 comprises a microcontroller (52) and switching/modulating circuits (58, 60, 62, 64) controlled thereby for controlling the four quadrant electrodes (14, 16, 18, 20) using alternating and/or pulsed voltages, as well as a tuning coil (66) connected to the rear electrodes (see Figure 5 and column 14, line 39 to column 15, line 22). The circuit arrangement defined in the characterising part of Claim 11 essentially comprises a generator (39), a bridge power amplifier (41), a filter (57) and a transformer (56) and solves the problem of permitting the piezo element to be controlled using

a low voltage. Such a circuit arrangement is neither disclosed nor suggested by the available prior art (see in particular D4).

The subject matter of Claim 11 therefore also meets the requirements of PCT Article 33(2) and (3).

9. Dependent Claims 2 to 5, 7 to 9 and 12 to 16 relate to embodiments of the inventions defined in Claims 1, 6 and 11. Their subject matter is therefore likewise considered novel and inventive (PCT Article 33(2) and (3)).
10. Claims 10 and 17 are independent claims which relate, respectively, to the use of a friction element as per Claims 6 to 9 and of a circuit arrangement as per Claims 11 to 16 in a drive as per one of Claims 1 to 5. Their subject matter is therefore also novel and inventive (PCT Article 33(2) and (3)).
11. Industrial applicability (PCT Article 33(4)) is clearly established for all the claims.



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 00/06133

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 H02N2/04 H02N2/06 H01L41/09 H01L41/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 IPC 7 H01L H02N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 714 833 A (ZUMERIS JONA) 3 February 1998 (1998-02-03) cited in the application column 11, line 30 - column 15, line 22 column 22, line 17 - column 24, line 14 column 29, line 10 - line 62 figures 1,5,30	1,6,10, 11,17
A	DE 196 48 726 A (PIEZOSYSTEM JENA PRAEZISIONSJUSTIERELEMENTE GMBH) 20 May 1998 (1998-05-20) cited in the application the whole document	1
A	US 5 166 572 A (OHNISHI KAZUMASA) 24 November 1992 (1992-11-24) column 1, line 6 - column 4, line 18	6-8
	-/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

*** Special categories of cited documents:**

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 November 2000

Date of mailing of the international search report

22/11/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Köpf, C



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 00/06133

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>BEN-YAAKOV S ET AL: "A resonant driver for a piezoelectric motor"</p> <p>PROCEEDINGS OF THE THIRTY-NINTH INTERNATIONAL POWER CONVERSION CONFERENCE PCIM'99, NURNBERG, GERMANY, 22 - 24 June 1999, pages 173-178, XP000964532</p> <p>ZM Commun. GMBH, Germany</p> <p>ISBN: 3-928643-22-3</p> <p>the whole document</p>	11,12,17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. Application No

PCT/EP 00/06133

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5714833 A	03-02-1998	US 5616980 A	01-04-1997
		US 5682076 A	28-10-1997
		EP 0755054 A	22-01-1997
		JP 9037575 A	07-02-1997
		US 6064140 A	16-05-2000
		US 5777423 A	07-07-1998
		US 5877579 A	02-03-1999
		JP 2980541 B	22-11-1999
		JP 8237971 A	13-09-1996
		JP 2000040313 A	08-02-2000
DE 19648726 A	20-05-1998	NONE	
US 5166572 A	24-11-1992	JP 2766387 B	18-06-1998
		JP 4105575 A	07-04-1992

